UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

"GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE"

PRESENTADO POR:

JOSÉ MAURICIO CORTEZ GARCÍA
HUGO WILFREDO GUZMÁN HENRÍQUEZ
AMILCAR DANIEL REYES RODRÍGUEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURÁN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

"GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE"

Presentado por:

JOSÉ MAURICIO CORTEZ GARCÍA
HUGO WILFREDO GUZMÁN HENRÍQUEZ
AMILCAR DANIEL REYES RODRÍGUEZ

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores:

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES
INGA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA
INGA. ASTRID KAREN CASTILLO DE VADILLO

San Salvador, Agosto de 2007

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

INGA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

INGA. ASTRID KAREN CASTILLO DE VADILLO

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por habernos dado la fortaleza, todas las bendiciones y su iluminación en nuestros caminos para el logro de nuestras metas a lo largo de nuestras vidas.

A la Universidad de El Salvador por habernos formado y dado la oportunidad de crecer intelectualmente y a la vez forjados como personas de bien.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron desinteresadamente durante el desarrollo de nuestro trabajo de graduación, con asesoría técnica, instalaciones y equipo de laboratorio. De manera muy especial, agradecemos a las siguientes instituciones que en su debido momento nos brindaron su valiosa colaboración:
Universidad de El Salvador (UES).
MultiPav.
Fundación Padre Arrupe, Centro de Tecnología Aplicada

A los diferentes profesionales que con su valiosa colaboración enriquecieron este trabajo brindándonos su apoyo para la elaboración de este trabajo de graduación, especialmente a:
Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides. (UES)
Ing. Lesly Emidalia Mendoza Mejía. (UES)
Ing. Astrid Karen Castillo de Vadillo. (MultiPav)
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo. (UES)
Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán. (UES)
Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo. (UES)
Ing. José Miguel Landaverde. (UES)
Tec. Carlos Edgardo Morataya (UES).
Tec. Camelia Palacios (MultiPav)

Tec. Franklin Cabrejo (MultiPav)
Srita. Helen Quinteros (MultiPav)
Sr. Roberto Escobar (MultiPav)
Sr. Anibal Zamora (MultiPav)
Sr. Marvin Morejon (MultiPav)
Sr. Arquimides Rosales (MultiPav)
Ing. Aleyda Montoya Reyes (Fundación Arrupe CTA)
Tec. Fredy Gil Linares Pineda (Fundación Arrupe CTA)
Sr. Juan Carlos Lemus Escalante (Fundación Arrupe CTA)

Además, queremos agradecer por la colaboración incondicional que nos brindaron algunas personas que de una u otra manera nos ayudaron durante el proceso de este trabajo.

Srita. Margarita Campos (UES).
Srita. Ana Raquel Martinez Ayala (UES).

En general a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta a la realización del presente trabajo de graduación.

DEDICATORIA

A DIOS: Por ser la fuerza que me acompaña en el día a día, llenándome de fortaleza en este caminar y por haberme guiado por el camino de la paciencia y perseverancia, hasta lograr culminar esta meta.

A MIS HIJOS: Oscar y Rony, por ser las personas que más Amó y ser mi Inspiración para poder seguir adelante.

A CAROLINA: Por ser la persona que me ha dado a los seres que más Amó, mis hijos, por estar siempre a mi lado.

A MIS PADRES: Ana María, por ser una madre que con su empeño supo forjarme en el camino de la vida, con sabiduría, amor y paciencia; a Mauricio Cortez, por ser el padre que siempre me ha apoyado en mis decisiones.

A MI ABUELA: Otilia Ramos, por ser mi segunda madre, que me apoyo cuando más lo necesitaba.

A MIS HERMANOS MAYORES: Violeta y su esposo Rodney, por ser los seres que han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional, motivándome siempre a salir adelante.

A MIS HERMANOS: Fernando, Otilia y Adán, por que de una u otra manera siempre han estado a mi lado.

A MIS ASESORES: Ing. Dilber Sánchez, Ing. Lesly Mendoza, Ing. Karen de Vadillo, por su ayuda y colaboración en el desarrollo del tema, por forjarnos con sus conocimientos en nuestra formación académica.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Amilcar Reyes y Hugo Guzmán, por haberme apoyado durante el desarrollo de este trabajo.

A MIS AMIGOS: Los que siempre me apoyaron y ayudaron.

MAURICIO CORTEZ

DEDICATORIA

A DIOS: Por haberme iluminado y dado sabiduría para seguir adelante.

A MIS PADRES: Miguel Angel Guzmán Tejada y Edith Evelyn Henríquez Sanabria por todo el apoyo incondicional que me han dado, por todos los sacrificios que han hecho para salir adelante y la comprensión que han tenido en todos estos años de estudio y en especial todo el tiempo de duración de este trabajo. Este trabajo es un logro suyo también.

A MIS HERMANOS: Miguel y Douglas por su apoyo y comprensión en todo este tiempo.

A MIS DEMAS FAMILIARES: Por el apoyo y confianza que me han dado toda mi vida.

A MIS AMIGOS: A todos mis compañeros en la universidad, con quienes he compartido mucho y de los que he aprendido mucho, muchas gracias.

HUGO GUZMÁN.

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida, por todas sus bendiciones, fortalecerme siempre y regalarme unos padres maravillosos.

A LA VIRGEN MARÍA: Por su bendición, intersección constante, por acompañarme siempre y fortalecerme a través de tus enseñanzas.

A MIS PADRES: Manuel Chavarría y Angelina Rodríguez, gracias por su comprensión, amor inmenso e incondicional esfuerzo en apoyarme para alcanzar ésta meta, gracias por sus consejos; por ser los mejores ejemplos de entrega, respeto, amor, esfuerzo y por estar junto a mí y ser también los protagonistas de mi éxito. Que Dios todo poderoso y la Santísima Virgen María me los bendigan siempre amados padres.

A MI HERMANA: Irasema, siempre me has acompañado en esta parte de mi vida, gracias por tu amor, comprensión y apoyo.

A MIS ASESORES: Ing. Dilber Sánchez, Ing. Lesly Mendoza, Ing. Karen de Vadillo, que con su valiosa colaboración, aportaron sus conocimientos en beneficio de nuestra formación académica, por su comprensión y ayuda.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Hugo Guzmán y Mauricio Cortéz, por su valiosa colaboración para la realización de nuestro trabajo de graduación y en principal por su amistad.

A MI TÍO: Lázaro, por su apoyo, cariño y amistad durante ésta etapa de mi vida.

A MIS AMIGOS Y DEMÁS FAMILIARES: Por su cariño, apoyo y colaboración que de alguna u otra forma aportaron un granito de arena en este esfuerzo.

AMILCAR REYES.

INDICE

INTRODUCCION……...XXIV
CAPITULO I: GENERALIDADES……....1
1.1 ANTECEDENTES……....1
1.2 PLANTEMIENTO DEL PROBLEMA…….2
1.3 OBJETIVOS……...……..4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL……...…..4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS……...……..4
1.4 ALCANCES……..……5
1.5 LIMITACIONES…….……..6
1.6 JUSTIFICACION……..……...…..6

CAPITULO II: MATERIALES PETREOS…….……..….9
2.1 IMPORTANCIA DEL AGREGADO EN UNA MEZCLA ASFALTICA……..….9
2.2 TIPOS DE AGREGADOS…….....10
2.2.1 DEFINICIÓN DE AGREGADO..……...10
2.2.2 CONCEPTOS PARA TIPOS DE AGREGADOS…...……....10
2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS……..……...11
2.2.3.1 Clasificación según el tipo de formación de las rocas……...11
2.2.3.1.1 Rocas sedimentarias……...11
2.2.3.1.2 Rocas igneas……...11
2.2.3.1.3 Rocas metamórficas……....12
2.2.3.2 Clasificación petrológico de las tocas.…….....12
2.2.3.3 Clasificación mineralogía de las rocas..……....13
2.2.4 CLASIFICACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGREGADOS…….....13
2.2.4.1 Clasificación de los agregados.…….…13
2.2.4.1.1 Agregados naturales…….……..13
2.2.4.1.2 Agregados procesados……...…14

2.2.4.1.3 Agregados sintéticos…….……15
2.2.4.2 Producción de agregados…….……16
2.3 ACOPIO Y MANEJO DE AGREGADOS…….....18
2.3.1 GENERALIDADES……..…….…..18
2.3.2 ACOPIO DE AGREGADOS……...18
2.3.2.1 Requisitos para la construcción de apilamientos…….…..20
2.3.3 MANEJO DE AGREGADOS...……...22
2.4 IMPORTANCIA DEL MUESTREO Y REDUCCION DE AGREGADOS……..22
2.4.1 IMPORTANCIA DEL MUESTREO DE AGREGADOS…….……..22
2.4.2 IMPORTANCIA DE LA REDUCCIÓN DE AGREGADOS…….…23
2.5 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS QUE SE UTILIZAN EN MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE (M. A. C.)……..24
2.5.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN M. A. C…….…24
2.5.1.1 Graduación y tamaño máximo de la partícula..…….…24
2.5.1.1.1 Graduación……...……..25
2.5.1.1.2 Tamaño máximo de la partícula…….……....26
2.5.1.1.2.1 Tamaño máximo del agregado……26
2.5.1.1.2.2 Tamaño máximo nominal del agregado...……...26
2.5.1.2 Textura superficial……...26
2.5.1.3 Limpieza……....29
2.5.1.4 Capacidad de absorción……...29
2.5.1.5 Dureza……....29
2.5.1.6 Afinidad por el asfalto.…….….30
2.5.1.7 Forma de la partícula…….…32
2.6 ANALISIS GRANULOMETRICO……...33
2.6.1 IMPORTANCIA DE UNA BUENA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO……33
2.6.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA....35

2.6.2.1 Tamizado en seco…….…….36
2.6.2.2 Tamizado por vía húmeda…….……37
2.6.3. IMPORTANCIA Y EFECTO DEL RELLENO
O POLVO MINERAL…….…….……....37
2.6.4 CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL AGREGADO…….….37
2.6.4.1 Análisis de granulometría…….…...37
2.6.4.2 Cálculos de proporcionamiento…….……39
2.6.4.3 Cálculos de peso específico…….…….40
2.7. ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (M.A.C.)……..……...41
2.7.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS…….……....41
2.7.2 REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS AGREGADOS……...…..42
2.7.2.1 Agregado grueso……...…42
2.7.2.2 Agregado fino……..……...……...43
2.7.2.2.1 Especificaciones para agregado fino en mezclas de
pavimentos bituminosos, según AASHTO M 29…….…43
2.7.2.3 Granulometría de agregados combinados (finos y gruesos)…….…….44
2.8 GUIAS DE ENSAYOS PARA AGREGADOS.....……..…….46
ENSAYO No. 1.: MUESTREO DE AGREGADOS AASHTO T 2…..……...…47
ENSAYO No. 2.: REDUCCION DE MUESTRAS DE
AGREGADO A TAMAÑO DE ENSAYO AASHTO T 248…….…….…….59
ENSAYO No. 3.: ANALISIS POR TAMIZADO DE
AGREGADOS GRUESO Y FINO AASHTO T 27…….……70
ENSAYO No. 4: MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN
EL TAMIZ DE 75µm (No. 200) EN AGREGADO
MINERAL POR LAVADO AASHTO T 11 …….……..……89
ENSAYO No. 5.: DENSIDAD BULK ("PESO UNITARIO")
Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS AASHTO T19/T19M…...……..….100
ENSAYO No. 6.: FINOS PLÁSTICOS EN AGREGADO

GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO
DEL EQUIVALENTE DE ARENA AASHTO T 116…….……...116
ENSAYO No. 7.: PARTICULAS PLANAS,
PARTICULAS ALARGADAS, O PARTICULAS PLANAS
Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO ASTM D 4791…….135
ENSAYO No. 8.: ENSAYO DE SANIDAD DE
AGREGADOS POR SULFATO DE SODIO AASHTO T 104...……..143
ENSAYO No. 9.: GRAVEDAD ESPECIFICA
Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO AASHTO T 84…...……164
ENSAYO No. 10.: GRAVEDAD ESPECIFICA
Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO AASHTO T 85…….181
ENSAYO No. 11: RESISTENCIA AL DESGASTE
DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO
POR IMPACTO Y ABRACION EN LA MAQUINA
DE LOS ANGELES AASHTO T 96……198

CAPITULO III: LIGANTES ASFALTICOS…….209
3.1. GENERALIDADES..……..…….209
3.1.1 Ligantes asfálticos……...……..…….209
3.1.2 DEFINICIÓN DE ASFALTO…….……...……210
3.1.3 ORIGEN Y NATURALEZA DEL ASFALTO……..…….……..211
3.1.3.1 Asfaltos naturales……...…….211
3.1.3.2 Refinación de petróleo…….....213
3.2 CUALIDADES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS…….216
3.2.1 PODER AGLOMERANTE……..……..216
3.2.2 AGENTE ESTABILIZANTE……..……...…….216

3.2.3 AGENTE IMPERMEABILIZANTE……..……...217
3.2.4 MANEJABILIDAD……...217
3.2.5 RESISTENCIA A LOS AGENTES ATMOSFÉRICOS……...……...217
3.3 CLASIFICACION, PROPIEDADES QUIMICAS
Y FISICAS DEL ASFALTO……...218
3.3.1 CLASIFICACIÓN Y TERMINOLOGÍA
DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS…….218
3.3.1.1 Ligante hidrocarbonato……....218
3.3.1.2 Ligante asfáltico……...……..218
3.3.1.3 Asfaltos industriales……..…….…...218
3.3.1.4 Asfaltos fluxados……...……218
3.3.1.5 Asfaltos para pavimentación.....218
3.3.1.5.1 Cemento asfáltico…….....218
3.3.1.5.2 Asfaltos diluidos o “cutback”…….....224
3.3.1.5.3 Asfaltos emulsificados…….....226
3.3.1.5.4 Asfaltos modificados…….....…….230
3.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO……..……..……231
3.3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO……...……..235
3.3.3.1 Durabilidad……...…….……....235
3.3.3.2 Adhesión y cohesión……235
3.3.3.3 Susceptibilidad a la temperatura…….....236
3.3.3.4 Endurecimiento y envejecimiento……...238
3.4 ESPECIFICACIONES DE LA SECRETARIA
DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA (SIECA)……..240
3.5 SEGURIDAD EN EL MANEJO DEL ASFALTO CALIENTE……. …242
3.6 ALMACENAMIENTO DE ASFALTO……...244
3.7 RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN……..245
3.8 ENSAYOS REALIZADOS AL ASFALTO PARA
DETERMINAR SUS PROPIEDADES……..……...249

3.8.1 MUESTREO DE ASFALTO……..……...……249
3.8.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO……..….....249
3.8.3 PESO ESPECÍFICO……..…….249
3.8.4 PENETRACIÓN……...…….....250
3.8.5 PUNTO DE FLAMA Y DE LLAMA……250
3.8.6 SOLUBILIDAD……..……...250
3.8.7 DUCTILIDAD……..…….251
3.8.8 VISCOSIDAD…….……..…….251
3.8.9 CARTA VISCOSIDAD-TEMPERATURA…….…….……251
3.8.10 ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN
3.8.11 HORNO (TFO) Y ENSAYO DE PELÍCULA
3.8.12 DELGADA EN HORNO ROTATORIO (RTFO)…….....252
3.9 GUIAS DE ENSAYOS PARA EL LIGANTE ASFALTICO……...…...253
ENSAYO No. 12.: MUESTREO DE MATERIALES
BITUMINOSOS AASHTO T 40…….……..….254
ENSAYO No. 13.: PUNTO DE ABLANDAMIENTO
DEL ASFALTO AASHTO T 53-96 ……..…266
ENSAYO No. 14.: GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES
BITUMINOSOS SÓLIDOS Y SEMI-SÓLIDOS AASHTO T 228…….. ……....279
ENSAYO No. 15.: PENETRACIÓN DE
MATERIALES BITUMINOSOS AASHTO T 49…..…….....289
ENSAYO No. 16.: PUNTO DE FLAMA Y
LLAMA AASHTO T 48…….303
ENSAYO No.17.: SOLUBILIDAD DE MATERIALES
BITUMINOSOS AASHTO T44…….....330
ENSAYO No. 18.: DUCTILIDAD DE MATERIALES
BITUMINOSOS AASHTO T 51……... ……..340
ENSAYO No. 19.: VISCOSIDAD CINEMÁTICA
DE ASFALTOS (BETUNES) AASHTO T 201-03 ……...350

ENSAYO No. 20.: ASTM D 341-93 PROCEDIMIENTO PARA
CARTAS VISCOSIDAD-TEMPERATURA DE PRODUCTOS
DE PETRÓLEO LÍQUIDO……375
ENSAYO No. 21.: EFECTO DEL CALOR Y EL AIRE
EN MATERIALES ASFÁLTICOS
(Ensayo de Película Delgada) AASHTO T 179 ……...……..382

CAPITULO IV: DISEÑO DE LA MEZCLA
ASFALTICA EN CALIENTE……....395
4.1 GENERALIDADES……..395
4.1.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA……..……395
4.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS……..……395
4.1.3 EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE…….…….398
4.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA……..……399
4.1.4.1 Densidad…….....399
4.1.4.2 Vacíos de aire…….....400
4.1.4.3 Vacíos en el agregado mineral (VAM)……...400
4.1.4.4 Contenido de asfalto……401
4.1.4.5 Vacios llenos de Asfalto VFA…….402
4.1.5 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS……402
4.1.5.1 Estabilidad……...402
4.1.5.2 Durabilidad…….....405
4.1.5.3 Flexibilidad……405
4.1.5.4 Resistencia a la fatiga……..406
4.1.5.5 Resistencia al deslizamiento……409
4.1.5.6 Impermeabilidad…….....410
4.1.5.7 Trabajabilidad…….....410
4.2 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL…….411

4.2.1 METODOLOGÍA……...…411
4.2.2 PROPOSITO DE LA METODOLOGIA……...411
4.4.3 DESCRIPCION GENERAL……..411
4.2.4 ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA……412
4.2.5 EVALUACIÓN Y AJUSTES DE UNA MEZCLA DE DISEÑO…….415
4.2.5.1 Lineamientos generales para ajustes de mezclas de prueba……418
4.2.5.1.1 Bajo contenido de vacíos y estabilidad baja…..……..418
4.2.5.1.2 Bajo contenido de vacíos y estabilidad satisfactoria…….…..418
4.2.5.1.3 Contenido satisfactorio de vacíos y estabilidad baja……...419
4.2.5.1.4 Contenido altos de vacíos y estabilidad satisfactoria…….……..419
4.2.5.1.5 Contenido de vacíos altos y estabilidad baja…….……...419
4.2.6 ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA
ASFÁLTICA COMPACTADA……..420
4.2.6.1 Determinación de la gravedad específica bulk……....420
4.2.6.2 Ensayo de estabilidad y flujo……..…420
4.2.6.3 Análisis de densidad y vacíos……..…421
4.3 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS……...421
4.3.1 DOSIFICACIÓN……421
4.3.2 METODO ANALITICO……....422
4.3.2.1 Dosificación para dos agregados……..…..422
4.3.2.2 Dosificación para tres agregados…….426
4.3.3 METODO GRAFICO……429
4.3.3.1 Dosificacion para dos Agregados…….....429
4.3.3.2 Dosificación para tres Agregados.....433
4.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO
EL MÉTODO MARSHALL……...438
4.4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS……440
4.4.2 COMPROBACIÓN GRANULOMÉTRICA…….445

4.4.3 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS……449
4.4.4 ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO……...451
4.4.5 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR
LA DOSIFICACIÓN DE AGREGADO Y ASFALTO……..…...…….455
4.4.5.1 Cálculo para una briqueta…….....455
4.4.5.2 Cálculo de una muestra para Teórica Máxima……456
4.4.5.3 Cálculos para las dosificaciones para Teóricas Máximas y briquetas…….456
4.4.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK
DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS…….....458
4.4.7 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO…….....458
4.4.7.1 Trabajo de laboratorio…….458
4.4.7.2 Análisis de los resultados de laboratorio…….473
4.4.7.3 Determinación del contenido optimo de asfalto……..482
4.4.8 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO…….……..500
4.4.9 FORMULA DE TRABAJO……...508
4.5 INFORMACIÓN DE DISEÑO QUE SE ENTREGA AL CONTRATANTE…….510
4.6 GUIAS DE ENSAYOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS……..513
ENSAYO No. 22.: RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS
AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS
BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL AASHTO T 245…..514
ENSAYO No. 23.: GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y
DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS
DE PAVIMENTACIÓN AASHTO T 209……..……..…….....533
ENSAYO No. 24.: GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS COMPACTADAS UTILIZANDO
ESPECIMENES SATURADOS SUPERFICIALMENTE
SECOS AASHTO T 166…….559
ENSAYO No. 25.: EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE LIGANTE
ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

EN CALIENTE (MAC) AASHTO T 164……..……..569
ENSAYO No. 26.: ANÁLISIS MECÁNICO DE
AGREGADO EXTRAÍDO AASHTO T 30……..……..587

CAPITULO V: CONTROL DE LA MEZCLA EN PLANTA……...595
5.1 GENERALIDADES……..595
5.2 PLANTAS ASFALTICAS……595
5.3 OPERACIONES EN PLANTA…….....599
5.3.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIALES……599
5.3.1.1 Almacenamiento de agregados……599
5.3.1.2 Almacenamiento de filler mineral...……....599
5.3.1.3 Almacenamiento de asfalto…….……600
5.3.2 COMPONENTES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR……601
5.3.3 ALMACENAJE EN TOLVAS Y
ALIMENTACIÓN EN FRIO DE AGREGADOS……..603
5.3.3.1 Pesado de los agregados……..605
5.3.3.2 Calibración y ajuste de los alimentadores……..606
5.3.4 SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO……608
5.3.4.1 Control de la temperatura……611
5.3.5 PROCESO DE MEZCLADO EN LAS PLANTAS MEZCLADORAS DE
TAMBOR……612
5.3.5.1 Medición del asfalto……612
5.3.5.2 Tipos de plantas mezcladoras de asfalto……613
5.3.5.3 Funcionamiento de las plantas mezcladoras de tambor……..…614
5.3.6 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLADO……618
5.3.7 SISTEMA DE CONTROL DE POLVO Y DE RECOLECCIÓN……619
5.3.71 Colectores centrífugos de polvo……...620
5.3.7.2 Depuradores húmedos…….……621
5.3.7.3 Compartimiento de filtros(filtros de tejidos)……...622

5.3.8 ALMACENAMIENTO DE MEZCLA EN CALIENTE……...624
5.3.9 CARGA Y PESAJE DE MEZCLA……625
5.4 INSPECCION DE LA MEZCLA EN CALIENTE……..…….628
5.5 IMPORTANCIA DE VERIFICAR LA CALIDAD DE LAS MEZCLA PRODUCIDA……..628
5.6 PROCESO DIARIO EN UNA PLANTA DE PRODUCCION……630
5.7 MUESTREO EN PLANTAS DE PRODUCCION……...632
5.8 EJEMPLO DE UN CONTROL DE CALIDAD REALIZADO A UNA BACHADA PRODUCIDA EN PLANTA DE UNA MEZCLADORA ASFALTICA EN CALIENTE……..…..634
5.9 DISPOSICIONES DE LA SIECA EN CUANTO A LAS PLANTAS PARA MEZCLAS ASFALTICAS ……..…636

CAPITULO VI: COLOCACION Y COMPACTACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE……..……..639
6.1 GENERALIDADES……..639
6.1.1 ASPECTOS QUE DEBE CONOCER EL INGENIERO……...639
6.1.2 RESPONSABILIDADES DEL INGENIERO……...643
6.1.3 ACEPTACIÓN DE LA SUPERFICIE SOBRE LA CUAL SE COLOCARA MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE……644
6.2 COLOCACION DE MEZCLAS ASFALTICA EN CALIENTE…….645
6.2.1 COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y PROYECTO…….645
6.2.2 CONTROL DURANTE LA ENTREGA DE LA MEZCLA EN LA OBRA……647
6.2.2.1 Boleto de carga……647
6.2.2.2 Inspección visual de la mezcla……649
6.2.3 CALCULANDO LA PRODUCCIÓN DE LA PAVIMENTADORA……...651
6.2.4 PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN……..……653
6.2.4.1 Ancho de la distribución y control del espesor de la mezcla……..653

6.2.4.2 Colocación de la mezcla a mano…….655
6.2.5 INSPECCIÓN DE LA CAPA COLOCADA ANTES DE LA COMPACTACIÓN…….....…….656
6.2.5.1 Temperatura de la mezcla colocada……656
6.2.5.2 Apariencia de la superficie del pavimento……..…657
6.2.5.2.1 Textura superficial……657
6.2.5.2.2 Lisura de la superficie……..658
6.2.5.3 Pendiente de la calzada……659
6.2.5.4 Geometría de la vía……..659
6.3 COMPACTACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE…….661
6.3.1 QUE ES LA COMPACTACIÓN Y QUE DEBE CONOCER UN EL INGENIERO……...661
6.3.2 IMPORTANCIA DE LA COMPACTACIÓN……...663
6.3.3 FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN……665
6.3.3.1 Propiedades de la mezcla……665
6.3.3.1.1 Agregado……..665
6.3.3.1.2 Asfalto……..666
6.3.3.1.3 Temperatura de mezclado……..…667
6.3.3.2 Efectos ambientales…….668
6.3.3.3 Espesor de la capa……...669
6.3.4 EQUIPO DE COMPACTACIÓN……..670
6.3.4.1 Compactadoras Tándem de Ruedas de acero……..671
6.3.4.2 Compactadoras vibratorias ……..……671
6.3.4.3 Compactadoras de ruedas neumáticas…….674
6.3.5 CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA……..677
6.3.6 PROCEDIMIENTOS DE COMPACTACIÓN……..…680
6.3.6.1 Secuencia de las operaciones de compactación……...682
6.3.6.2 Procedimientos específicos de compactación…….683
6.3.6.2.1 Juntas……683

6.3.6.2.1.1 Juntas transversales……...683
6.3.6.2.1.2. Juntas longitudinales……689
6.3.6.2.1.3 Capas delgadas……..697
6.3.6.2.3 Capas gruesas……...698
6.3.6.2.4 Compactación de bordes……..699
6.3.6.2.5 Compactación inicial……700
6.3.6.2.6 Compactación intermedia……700
6.3.6.2.7 Compactación final……..700
6.3.6.2.8 Compactación de áreas inaccesibles……701
6.3.7 CONTROL DE LA MEZCLA EN OBRA Y DE SU COMPACTACIÓN……..701
6.3.8 REQUISITOS DE APROBACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL PAVIMENTO…708
6.3.8.1 Requisitos de aprobación……708
6.3.8.1.1 Rugosidad superficial del pavimento……...708
6.3.8.1.2 Deflexiones medidas en la superficie del pavimento……...709
6.3.8.1.3 Deformaciones permanentes……709
6.3.8.1.4 Fatiga……709
6.3.8.2 Aceptación……...709
ENSAYO No. 27 REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS DE MEZCLADO PARA MEZCLAS EN CALIENTE Y MEZCLAS DE PAVIMENTO BITUMINOSOS COLOCADOS EN CALIENTE……..……...……712
ENSAYO No 28 MUESTREO DE MEZCLAS BITUMINOSAS PARA PAVIMENTACIÓN…….....733
ENSAYO No. 29 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLAS DE BETUNES-AGREGADOS……..742

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……..751
CONCLUSIONES……...751
RECOMENDACIONES…….753

BIBLIOGRAFIA…….757

ANEXO I.……763

ANEXO II.……...767

INTRODUCCION

La calidad de una carretera depende del diseño estructural, la calidad de los procesos constructivos y de los materiales que son empleados para su construcción. Estos tres factores son de suma importancia, pero la calidad de los materiales es un factor muy preponderante al momento de realizar el control de calidad por lo que se debe tener mucho cuidado en este aspecto al encontrarse en un proyecto de construcción de carreteras.

Como de todos es sabido un pavimento consta de diversas capas dependiendo del tipo, por ejemplo un pavimento rígido tiene una capa de rodadura y su base, mientras que un pavimento flexible tiene capa de rodadura, base y en la mayoría de ocasiones una sub base. De estos dos tipos de pavimentos el que nos concierne estudiar son los flexibles que se construyen con mezclas asfálticas en caliente (MAC) y de todos los componentes del pavimento nada más el material que compone la carpeta de rodadura.

En una carpeta de rodadura hecha con una MAC sus constituyentes más comunes son: el cemento asfáltico en caliente, agregados y algunas veces aditivos para mejorar las propiedades de la mezcla. De todos estos materiales nada más abordaremos lo concerniente al cemento asfáltico en caliente y los agregados, dejando a un lado los aditivos, puesto que el tema de los aditivos es muy extenso para ser abordado en este documento.

Por lo tanto el presente documento nada más se referirá a la mezcla asfáltica en caliente en cuanto a su diseño, control de mezcla en planta y colocación y compactación de la mezcla en campo, sin ahondar en los procesos constructivos de la base, sub base y los tratamientos que se realizan a la sub rasante. Este trabajo pretende ser solamente una guía básica para poder conocer todos los conceptos y ensayos fundamentales relacionados con MAC. Los capítulos que se abordan en el presente documento son los siguientes:

Capítulo I se da una breve descripción de los objetivos, alcances y limitaciones para el desarrollo de este documento.

Capítulo II, se da una breve descripción de la teoría relacionada a los agregados así como especificaciones para su manejo y acopio en planta, control de calidad de materiales pétreos y los ensayos que básicamente se le realizan a los agregados.

Capítulo III, se hace breve mención de las características y propiedades más importantes del asfalto, su composición y como todos estos parámetros influyen en las propiedades de la mezcla; así como también los ensayos básicos que se realizan para comprobar el grado y calidad de los asfaltos.

Capítulo IV, contempla una breve descripción de las propiedades necesarias a tomar en cuenta para el diseño de una MAC, también se desarrolla un breve procedimiento, a modo de ejemplo, del diseño de una MAC y los ensayos necesarios para poder realizar el diseño con el método Marshall.

Capítulo V, se describen los componentes básicos de una planta de producción de mezcla asfáltica en caliente, se mencionan los ensayos a realizarse a la mezcla para un buen control de calidad en planta.

Capítulo VI, se hace una breve descripción del proceso de construcción del tramo de prueba, del equipo necesario para la compactación, de los tipos de juntas, control de la mezcla en campo para su respectiva colocación y posteriormente su compactación, así como también se hace mención de los ensayos más importantes para su control de calidad y los requisitos de aceptación de la mezcla compactada.

Capítulo VII, se dan las conclusiones concernientes a todos los capítulos y las recomendaciones de aspectos importantes.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La durabilidad de un pavimento flexible depende de varios factores entre los principales están la calidad de las capas inferiores como la sub-rasante, sub-base, base, carpeta asfáltica, procesos constructivos y la calidad de los materiales.

Este último factor es de suma importancia, ya que una mezcla asfáltica de buen desempeño depende de la calidad de los agregados, y del asfalto y de un buen diseño del proporcionamiento relativo de cada uno de sus constituyentes. En nuestro país, de acuerdo a las características geográficas que presenta, el estudio para realizar un buen diseño de mezclas asfálticas ha sido descuidado, y el ejecutar un mal diseño es una de las muchas razones por las cuales un concreto asfáltico puede fallar prematuramente.

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente es necesario hacer estudios de calidad a sus materiales constituyentes y a la mezcla que se obtiene al combinarlos en proporciones; en vista de que en muchas ocasiones los procedimientos se descuidan o no son seguidos apropiadamente; tanto en laboratorio como en los procesos constructivos de mezclas asfálticas en caliente, es necesario recopilar una guía básica para verificar que dichos procesos sean los adecuados según las especificaciones vigentes.

En la Universidad de El Salvador se han realizado dos tesis de investigaciones afines con el título planteado en ésta investigación; la primera en 1982 "Diseño de Mezclas Asfálticas: Consideraciones Sobre el Método Marshall" del Ing. Isidro Antonio Hernández; la segunda en 1997 " Propuesta de Manual Para la Asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador" del Ing. Tulio Pineda, en ella se presentan los ensayos de mezcla asfáltica y emulsiones asfálticas, de una forma muy general y se deja un gran vacío en el control de la calidad de la mezcla producida en planta, del control de calidad y de los procesos constructivos en campo. En muchos casos los procedimientos que se siguen no corresponden a las versiones más actualizadas de las normas AASHTO, cabe mencionar que muchos

ensayos han tenido algunas modificaciones, por lo que se hace necesario conocer las nuevas disposiciones a tomar en cuenta, para realizarlos y así obtener resultados más confiables al momento de diseñar la mezcla asfáltica en caliente, todos éstos cambios o modificaciones en los ensayos serán basados en las normas AASHTO 2005 utilizando el Método Marshall.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La durabilidad de una carpeta de rodadura, en el caso del concreto asfáltico, depende de ciertos factores entre los que se puede mencionar:

- Características propias de cada proyecto.
- El diseño mismo de la mezcla asfáltica en caliente.
- La adecuada selección de materiales para sub-rasante, sub-base y base, para garantizar que proporcionen un adecuado soporte a la capa inmediata superior; considerando que la contribución de soporte que brinda cada una de las capas es en orden descendente la carpeta de rodadura, que es la que mayor aporte estructural brinda; la base, la sub-base y la sub-rasante.
- La adecuada selección de los materiales pétreos utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a la granulometría y a las especificaciones que deben cumplir los agregados.
- Falta de conocimiento sobre las características y propiedades de los asfaltos utilizados en el país para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente, las cuales son muy importantes conocer y controlarlas.
- Procedimientos deficientes sobre los ensayos de laboratorio para diseñar una mezcla asfáltica en caliente.
- Un control ineficiente durante la elaboración en planta de las mezclas asfálticas en caliente.
- Procesos inadecuados para la colocación y compactación de las mezclas asfálticas en caliente en la obra.

Todos estos factores dan un mayor o menor aporte que contribuyen a que una carpeta asfáltica tenga un buen o mal desempeño a lo largo de su vida útil; pero, en esta oportunidad nos es de vital interés, particularmente, los últimos tres factores que los podemos resumir como el diseño, producción en la planta y colocación de la mezcla asfáltica en caliente, ya que son de suma importancia por contemplar en ellos muchos ensayos de laboratorio; tal es el caso del procedimiento que se sigue en laboratorio para llegar a establecer un diseño de mezcla asfáltica en caliente, en dicho proceso interviene la comprobación de la calidad de los materiales constituyentes que se van a utilizar como lo son los agregados y el asfalto, además se establecen sus proporciones respectivas para formar la mezcla asfáltica, todo esto mediante una serie secuencial de ensayos, para llegar a establecer la formula de trabajo.

También, es importante la producción de una buena mezcla asfáltica, según sea el requisito del proyecto específico a construir, se debe de garantizar que la producción se está elaborando en base a los parámetros establecidos en el diseño previo de laboratorio, conforme a la formula de trabajo, garantizando que se utilizan agregados y asfalto de buena calidad; y que la mezcla cumple con los requisitos de diseño.

La colocación y compactación de una mezcla asfáltica en caliente también es un factor que incide mucho en la calidad de una carpeta de rodadura asfáltica, ya que todos los factores que intervienen en el diseño estructural pueden presentar la más alta calidad, tanto en materiales como en diseño; pero si no se siguen los procesos adecuados para la colocación y luego la compactación de una mezcla asfáltica en caliente, la carpeta de rodadura puede sufrir un deterioro considerable e incluso llegar a fallar antes del tiempo de diseño.

Estos factores como el diseño, producción, colocación y compactación de una mezcla asfáltica en caliente contempla la realización de ensayos, los cuales deben realizarse adecuadamente y de ser posible basados en normas actualizadas, además se deben de manejar claramente una serie de conceptos, especificaciones y procedimientos relacionados con las mezclas asfálticas en caliente, los que muchas veces por deficiencia o descuido no se aplican, y el hecho de que se descuiden o se obvien puede llegar a

tener serias repercusiones en el desempeño de una carpeta asfáltica. Todo esto se puede evitar de cierto modo si se utilizan los procedimientos establecidos en normas como lo son las AASHTO que son las que rigen los ensayos de materiales para carreteras, y son en las que se fundamenta el Manual de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA), "Manual Centroamericano de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes regionales" que son las especificaciones que rigen la construcción de carreteras a nivel centroamericano y en especial a nuestro pais.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Proporcionar una guía básica para el diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar los conceptos fundamentales y nociones generales que conciernen al diseño de mezclas asfálticas en caliente.
- Determinar cuales son las especificaciones y normas que están involucradas para el diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.
- Llevar a cabo la revisión y actualización de los procedimientos implicados en los ensayos que verifican la calidad de los materiales involucrados en el diseño de una mezcla asfáltica en caliente, así como el equipo correspondiente a cada práctica.
- Efectuar los ensayos de laboratorio a los agregados, asfalto y mezcla asfáltica en caliente utilizando los procedimientos de las normas AASHTO 2005.
- Ejemplificar el diseño de una mezcla asfáltica en caliente utilizando el Método Marshall, y establecer su formula de trabajo.
- Determinar un proceso adecuado para controlar en planta la producción de la mezcla de obra y garantizar de esta forma que cumpla con la calidad en base al diseño respectivo.

- Establecer los cuidados que se deben de tener en cuenta al transportar la mezcla asfáltica desde la planta hasta el lugar del proyecto.
- Establecer los procedimientos adecuados que intervienen en la colocación y compactación de mezclas asfálticas en caliente lograr a obtener una buena carpeta de rodadura.

1.4 ALCANCES

- Se realizara el diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el método Marshall.
- Se realizará un análisis e interpretación de las normas AASHTO 2005 referentes a los ensayos que se desarrollan para el diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.
- Para cada ensayo de laboratorio se elaborará una guía basada en las normas AASHTO y su respectiva equivalencia ASTM las cuales nos proporcionan los procedimientos de ensayo, alcances, definiciones, equipo, y materiales necesarios a utilizar.
- Recopilación de información a través de visitas de campo, entrevistas a personas expertas en el diseño, control y colocación de mezclas asfálticas en caliente y consultas bibliográfica.
- Se utilizarán los parámetros o disposiciones establecidos en el "Manual Centroamericano de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales" de la S.I.E.C.A. en lo que respecta a mezclas asfálticas en caliente.
- Se elaborará una guía de consulta que contemple los conceptos fundamentales y básicos en lo relacionado a mezclas asfálticas en caliente, que será implementada conforme a las normas AASHTO 2005 correspondientes.

1.5 LIMITACIONES

La realización de este trabajo enfoca una serie de limitaciones, entre las que podemos mencionar:

- Sólo se realizarán aquellos ensayos con el equipo disponible en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil "Ing. Mario Angel Urbina" é instituciones que estén dispuestas a colaborar en este proyecto.
- Los ensayos a ejecutar serán los básicos y fundamentales para poder realizar el diseño de la mezcla asfáltica en caliente en el laboratorio.
- En lo que respecta al control de la calidad de la mezcla producida en planta sólo se ejemplificarán los ensayos necesarios para verificar que dicha mezcla cumple con las especificaciones del método Marshall y parámetros establecidos en el laboratorio.
- Para la colocación de la mezcla asfáltica en campo y su compactación, se considerará que la base, subbase y la subrasante, han sido debidamente aprobada por la supervisión y por lo consiguiente estas no se comentarán en este documento.
- Se determinaran las normas AASHTO 2005 básicas a traducir, que competen a los agregados, asfalto y mezcla asfáltica en caliente.
- Se usarán las normas AASHTO 2005 por ser vigentes.
- Sólo se tratará el tema de mezclas asfálticas en caliente y lo concerniente a la colocación de la carpeta de rodadura sin ahondar en mezclas para mantenimiento correctivo u otro tipo de actividades.
- En esta investigación no se contemplan las emulsiones asfálticas, ni los asfaltos rebajados y por lo consiguiente estos no se trataran en este documento.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país, las carreteras constituyen el medio más importante de comunicación y contribuyen al desarrollo social, político y económico del país. Se utilizan para cubrir necesidades personales, industriales, comerciales o agrícolas, realizando un esfuerzo económico para construir nuevas vías y dar mantenimiento a las ya existentes.

Estas deben de construirse de tal manera que cumplan con los requisitos establecidos de diseño, entre uno de los más importantes es la carpeta de rodadura, mezcla asfáltica en caliente. En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente existe una diversidad de ensayos que son necesarios realizar para determinar la calidad de los materiales que la constituyen y su proporcionamiento relativo óptimo, para ello hay que regirse bajo procedimientos normados que nos permitan comprobar si los agregados y el asfalto presentan las características óptimas para la obtención de un buen diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Los procedimientos que se realizan en los ensayos de laboratorio deben ser de acuerdo a lo especificado en las normas AASHTO correspondientes, las normas son revisadas regularmente y ciertos parámetros o procedimientos pueden cambiar o ser mejorados, por consiguiente los procedimientos de ensayos utilizados actualmente pueden no ser los adecuados para las diversas pruebas que se realizan, en el caso de las pruebas de laboratorio están basadas en normas ASTM de años anteriores, las normas que rigen principalmente las pruebas de materiales para carreteras son las normas AASHTO. Por ello, surge la necesidad de actualizar los procedimientos de los ensayos que se llevan a cabo en base a las normas AASHTO 2005, por lo tanto, se hace necesario la implementación de un documento que permita conocer y entender el proceso de verificación de calidad de los materiales constituyentes mediante las pruebas pertinentes que se realizan a los agregados y al asfalto antes de determinar las proporciones relativas para luego proceder al diseño de la mezcla asfáltica, para esto la **"GUIA BASICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCION Y COLOCACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE"** persigue ser un medio para orientar a docentes, estudiantes y a personas que se desempeñan en el área de diseño y construcción de carreteras de concreto asfálticos, en lo fundamental y básico que respecta a esta área de la ingeniería, en ella se describirán los procedimientos de los ensayos involucrados en el diseño, producción y colocación de la mezcla, además contemplará una descripción del equipo a utilizar, así como también los conceptos, definiciones y los procedimientos utilizados en el diseño, producción y colocación de una mezcla asfáltica, todo esto se

hará basado en la consulta de normas, especificaciones de materiales y recopilación de información en textos afines con el tema, con la finalidad de que las personas que deseen llevar a cabo algún ensayo puedan realizarlo en base a un procedimiento que le sirva como guía, tanto para el diseño, control de la producción y colocación de la mezcla asfáltica en caliente.

CAPITULO II: MATERIALES PETREOS

2.1 IMPORTANCIA DEL AGREGADO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto que para nuestro caso se usara asfalto normal o sea sin aditivos; los agregados por su parte son de una gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen; es de mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a una buena distribución granulométrica. Una pequeña variación en el porcentaje de un determinado tamaño de agregado ó en las propiedades de éste puede causar cambios significativos en las propiedades de la mezcla elaborada por lo tanto es necesario llevar un control eficiente de los agregados que se esta usando en la planta de producción de mezcla lo cual puede comprender:

i) Control de calidad del agregado que se produce en la planta trituradora.
ii) Acopio de agregados.
iii) Alimentación en frío de agregados.

El control de la calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento de una carpeta de concreto asfáltico, sin embargo, además de la calidad se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación, estos criterios incluyen el costo, la disponibilidad del agregado su origen y además, deberá cumplir con ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para concreto asfáltico de buena calidad.

2.2 TIPOS DE AGREGADOS

2.2.1 DEFINICIÓN DE AGREGADO

Agregado, es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

2.2.2 CONCEPTOS PARA TIPOS DE AGREGADOS

Entre los conceptos más usados relacionados a los agregados se encuentran:

- *Agregado Grueso* – Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- *Agregado Fino* – Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y queda retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200).
- *Polvo Mineral* – La porción de agregado fino que pasa el tamiz No. 200.
- *Relleno Mineral* – Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 75 μm (No. 200).
- *Agregado de Graduación Gruesa* – Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.
- *Agregado de Graduación Fina* - Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.
- *Agregado Densamente Graduado* – Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.
- *Agregado de Graduación Abierta* – Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

- *Agregado Bien Graduado* – Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de un llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

2.2.3.1 Clasificación según el tipo de formación de las rocas

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas.

2.2.3.1.1 Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceos y calcáreos. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáreas.

2.2.3.1.2 Rocas igneas

Las rocas ígneas formadas por material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado, pueden ser: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita, y el basalto son ejemplos de rocas ígneas extrusivas.

Las rocas ígneas intrusivas, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y

endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita, y el gabro. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

2.2.3.1.3 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra, y también por reacciones químicas. Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en otras direcciones. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa; una roca sedimentaria).

2.2.3.2 Clasificación petrológico de las rocas

Desde el punto de vista petrológico, las rocas pueden clasificarse en varios grupos de rocas de características comunes:

- Grupo basáltico: Andesita, basalto, porfiritas básicas, dolerías de todas clases, epidorita cuarzo-dolerita.
- Grupo Pedernalino: horsteno, pedernal.
- Grupo Gábrico: Diorita básica, gabro, hornoblenda-roca, norita, peridotito, picrítica.
- Grupo Granítico: Granito, granodiorita, granulito, pegmatita, cuarzo-diorita, sionita.
- Grupo Arenisco: Aglomerado, arcosa, brecha, arenilla, arenisca, tufa.
- Grupo Hornofélsico: Rocas que se alteran al contacto, de todas clases, excepto mármol.
- Grupo Calizo: Dolomita, caliza, mármol.
- Grupo Porfirítico: aplita, dacita, felsita, microgramito, pórfido, cuarzo, porfirita, riolita, troquita.

- Grupo Cuarzoso: Arcilla refractaria, areniscas cuarzosas, cuarcita recristalizada.
- Grupo Esquistoso. Filita, esquisto, pizarra, todas las rocas severamente agrietadas.

2.2.3.3 Clasificación mineralogía de las rocas

De acuerdo a su mineralogía los agregados se clasifican en:

- Minerales de sílice (cuarzo, ópalo, calcedonia, tridimita).
- Feldespatos
- Minerales de Mica
- Minerales de Carbonato
- Minerales de Sulfato
- Minerales de Sulfuro de Hierro
- Minerales de Ferromagnesio
- Zeolitas
- Oxidos de hierro
- Minerales de Arcilla.

2.2.4 CLASIFICACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

2.2.4.1. Clasificación de los agregados

Los agregados usados en pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

2.2.4.1.1 Agregados naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de

un tamaño igual o mayor que tamiz No. 4. La arena se define como partículas de un tamaño menor que tamiz No. 4 pero mayor que el tamiz No. 200. Las partículas de tamaño menor que 75 μm (tamiz No. 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

2.2.4.1.2 Agregados procesados

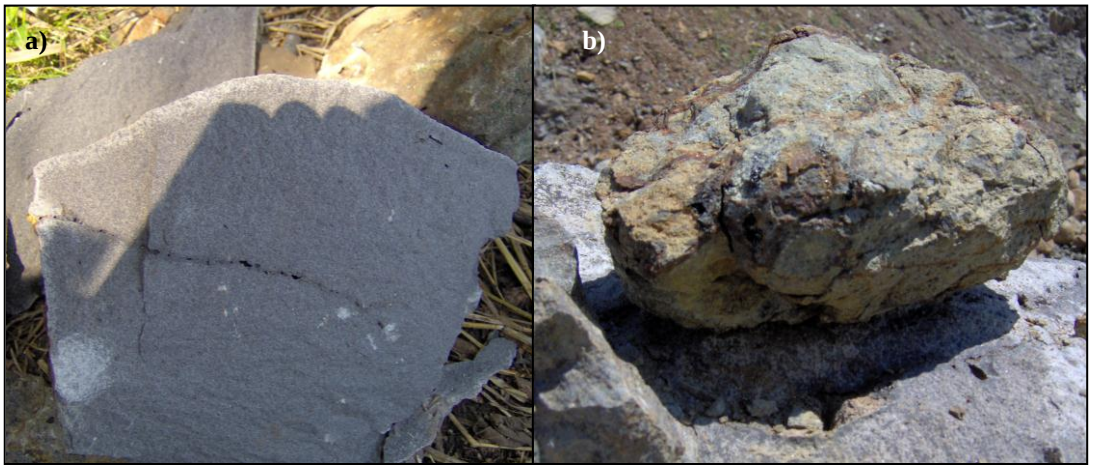
Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas mas apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

La roca es triturada por tres razones:

- Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa,
- Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y
- Para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

En la cantera antes de trasladar las rocas en su tamaño adecuado a la trituradora es controlada visualmente la calidad de la roca que se está extrayendo, ya que puede darse el caso que las rocas no sean apropiadas para producir agregado de buena calidad que cumpla con todos los requisitos que se establecen para agregado de mezclas asfálticas o cualquier otro uso, en la **Fotografía 2.1.a)** se muestra una roca que es de buena calidad, la cual producirá agregado de calidad, mientras que la **Fotografía 2.1.b)** muestra una roca muy meteorizada lo cual hace que la roca se desintegre fácilmente, tan sólo con tocarlas con las manos. El propósito de la trituración de las rocas, es principalmente reducirlas a un tamaño que sea manejable, el tamaño de la roca que es llevada a la trituradora es aproximadamente del tamaño de la roca que se utiliza para hacer los muros

de contención, también, los cambios en la textura superficial y apariencia en dureza son muy importantes a la hora de enviar la roca a la trituradora.



Fotografía 2.1. **Calidad de Rocas:**
a) Roca que producirá agregado de buena calidad
b) Roca meteorizada

Fotografía tomada en Cantera Colima "Planta Trituradora" de **MultiPav**, Carretera a Chalatenango.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partículas. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con las especificaciones establecidas de granulometría. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

2.2.4.1.3. Agregados sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. El producto secundario mas comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a

la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado. Básicamente cualquier agregado que sirve para mezcla asfáltica es bueno para concreto, pero no todo el agregado bueno para concreto sirve para mezcla. Los requerimientos que debe cumplir el agregado para mezcla asfáltica son más altos. Normalmente para concreto no se utilizan agregados finos, a no ser para aplicaciones especiales que tienen sus propios requerimientos. Las mezclas asfálticas de granulometrías abiertas no utilizan finos, pero una mezcla densa requiere una curva granulométrica que tenga una distribución de todos los tamaños.

2.2.4.2. Producción de agregados

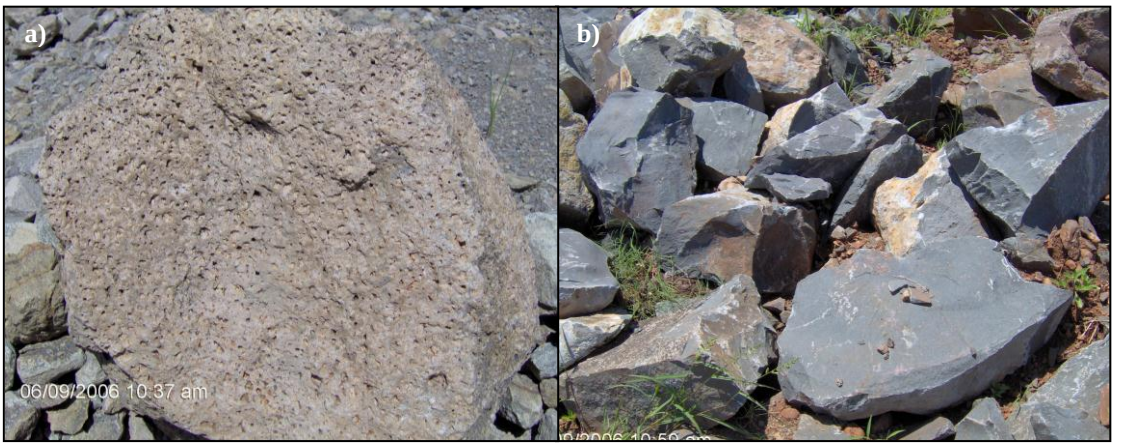
Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al realizar el descapote para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo superficial contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras (ver **Fotografía 2.2.a)**) deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un nivel horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del deposito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme el material que se explota en ocasiones debe ser lavado en lagunas de agua para retirar todo el material innecesario y dañino como las arcillas y materia orgánica. Después de extraer las rocas de la cantera el material es reducido a un tamaño adecuado y transportado a la trituradora (Ver **Fotografía 2.2.b)**) donde se reduce a tamaños según las granulometrías que se estén produciendo, esto se logra mediante unos tamices los cuales retienen las partículas grandes para que sean de nuevo procesados el triturado y tamizado es esencial

ya que se debe evaluar completamente los agregados producidos para verificar si cumplen con los requisitos de calidad y graduaciones establecidas.

Fotografía 2.2. **a) Cantera b) Trituradora**

Fotografía tomada en Cantera Colima "Planta Trituradora" de **MultiPav**, Carretera a Chalatenango.

En la **Fotografía 2.3.** se muestran dos tipos de rocas la primera es una roca muy porosa por lo que produce grava porosas lo que no es deseado en un agregado, mientras que el segundo tipo de roca es de superficie lisa sin porosidades por lo que producirá agregado de la más alta calidad para mezclas asfálticas.



Fotografía 2.3. **Rocas de diferente calidad: a) Roca porosa b) Roca sólida**

Fotografía tomada en Cantera Colima "Planta Trituradora" de **MultiPav**, Carretera a Chalatenango.

2.3 ACOPIO Y MANEJO DE AGREGADOS

2.3.1 GENERALIDADES

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de los contratantes no tienen claras las especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello el dueño del proyecto requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada. En cualquier caso, el constructor deberá estar al tanto de cómo las practicas de manejo y acopio de reservas tanto buenas y malas afectan la selección del agregado.

El muestreo y los ensayos son los únicos medios para verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aún si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo, indicados en el Ensayo No. 1 (Pág. 46) "Muestreo de Agregados" AASHTO T 2.

2.3.2 ACOPIO DE AGREGADO

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de materiales. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente almacenados (Ver **Fotografía 2.4.**). Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado de mayor tamaño se acumulan en la parte inferior de los apilamientos a lo que se le llama segregación, y la graduación varia en los diferentes niveles del acopio. El contratista deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que estos sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies firmes y limpias, y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, lo cual conduce frecuentemente a errores en la granulometría; esto se logra alejando lo más posible las pilas de almacenamiento, del paso de vehículos, para evitar su contaminación con el polvo.

Fotografía 2.4. **Forma de un apilamiento de agregado sobre superficie firme y limpia**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

Es recomendable que el contratista cubra los apilamientos usando cubiertas de polietileno o lonas, la cubierta debe colocarse directamente sobre los agregados, fijándola adecuadamente y cubriendo toda la superficie de las pilas, para asegurar la protección contra los elementos naturales como la lluvia, especialmente para los acopios de finos cuya granulometría se puede afectar si se lavan con las lluvias (Ver **Fotografía 2.5.**).

Fotografía 2.5. **Acopio de agregado fino tapado para evitar el lavado de finos provocado por la lluvia.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

2.3.2.1 Requisitos para la construcción de apilamientos

La segregación de agregado de tamaño regular puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y después unirlos, en proporciones apropiadas, antes de las operaciones de mezclado. Cuando estas prácticas no son llevadas a cabo, se deben seguir, de todas maneras, ciertas normas aplicables al acopio de reservas. La primera norma consiste en controlar la forma de los acopios. Cuando un agregado que contiene materiales gruesos y finos es apilado para formar un acopio de lados inclinados, las partículas gruesas tienden a rodar abajo, por la pendiente, y acumularse en la base.

El mejor método para acopiar reservas de agregado que contienen partículas de diferente tamaño consiste en apilar el material para lo cual existen ciertos aspectos a tomar en cuenta:

i) Limpiar y desenraizar el lugar escogido por el contratista.
ii) Nivelar el sitio para obtener una sección transversal que permita un buen drenaje.
iii) Compactar el piso por lo menos con tres pasadas del equipo de compactación.
iv) Colocar, compactar y mantener una capa de por lo menos 150 mm de piedra quebrada en el sitio de apilamiento y en los accesos, para estabilizar y evitar la contaminación del material del apilamiento

Los apilamientos deben tener una forma geométrica regular con un talud de pendiente lateral no mayor de 1:1.5 y un talud frontal de acceso de 3:1.
Para formar las pilas, los agregados se deben depositar en capas uniformes de alturas no mayores de 1 metro (ver **Figura 2.1.**), si el agregado es entregado por un camión, las cargas deberán ser vaciadas una cerca de otra (ver **Figura 2.2.**), sobre la superficie del acopio, cada capa deberá ser completada antes de depositar la capa siguiente.

Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, silos o bolsas para prevenir que sean arrastrados por el viento y que sean expuestos a la humedad, la cual los

puede aglutinar o endurecer. El relleno mineral consistirá de material mineral dividido finamente como polvo de roca, polvo de escoria, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas muy finas, marga, u otra materia mineral adecuada.

Figura 2.1. **Formación de un apilamiento.**

"Segregación Causas y Soluciones"; por J. Don Brock, James G. May y Grez Renegar.

La colocación de las cargas debe realizarse con un equipo de volteo equipado con llantas de hule.

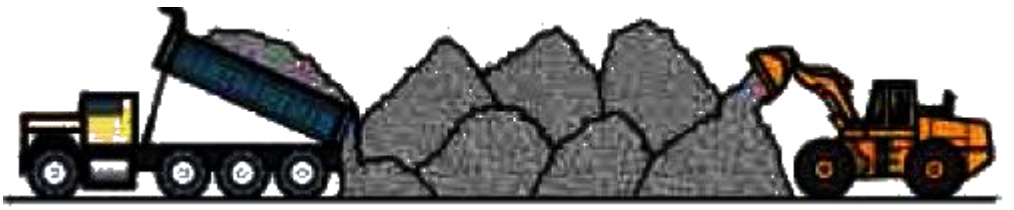


Figura 2.2. **Entrega de agregado por un camión**

"Segregación Causas y Soluciones"; por J. Don Brock, James G. May y Grez Renegar.

Al momento de usarse, estará suficientemente seco para fluir libremente y esencialmente libre de aglomeraciones, conforme a la especificación AASHTO M 17, Filler Mineral para Mezclas Bituminosas para Pavimentación.

2.3.3 MANEJO DE AGREGADO.

El manejo de agregado es muy importante ya que las partículas individuales de agregado causan segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños, por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación.

El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero sí hay una norma general que casi siempre se aplica; ésta consiste en usar un cargador para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un buldózer, o cualquier otro vehículo de tracción, para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

2.4. IMPORTANCIA DEL MUESTREO Y REDUCCIÓN DE AGREGADO

2.4.1 IMPORTANCIA DEL MUESTREO DE AGREGADO.

El muestreo es muy importante al igual que la realización de un ensayo, la persona encargada que ha de realizarlo deberá hacerlo de una forma muy correcta para que una porción de material que es extraído de un acopio de varias toneladas, presente las características y propiedades del agregado en bruto que representa, y además, los buenos procedimientos de control de calidad requieren de varios ensayos durante los procesos de producción, acopiado, y manejo para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación, y
- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que esta siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio, solo es posible ensayar muestras de estos

materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables.
Por lo tanto, es muy importante tener técnicas apropiadas de muestreo ("Muestreo de Agregados", Ensayo No. 1 AASHTO T-2). En el cual se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo nominal de la partícula de agregado.

Por ejemplo uno de los muestreos más comunes es el de un acopio, dicho ensayo establece que se debe de realizar un plan para que todas las partes involucradas queden conforme y acepten los resultados; para un apilamiento se deben de tomar muestras de cada uno de los tercios del apilamiento y de diferentes lugares del apilamiento, luego mezclar para obtener una sola muestra.

Debe recordarse que las muestras mas representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

2.4.2 IMPORTANCIA DE LA REDUCCIÓN DE AGREGADO.

Después que se ha realizado el muestreo en campo para realizar cualquier ensayo es necesario hacer una reducción del material que se ha muestreado a un tamaño de muestra suficiente para realizar dicho ensayo, éste proceso de reducción de muestra de campo a muestra de ensayo es necesario realizarlo con el equipo y procedimientos adecuados para poder garantizar que una muestra de unos cuantos gramos presentará las mismas características y propiedades del agregado en bruto al cual representa, sino, se siguen los procedimientos de reducción los resultados no serán confiables y arrojaran datos erróneos; para dichos procedimientos consultar el Ensayo No. 2 (Pág. 59) "Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo", AASHTO T 248.

2.5. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS QUE SE UTILIZAN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (M.A.C)

2.5.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN M. A. C.

En una mezcla asfáltica en caliente densamente graduada, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento de la carpeta de rodadura. Debido a su naturaleza los agregados pétreos pueden presentar distintas características y, finalmente, influir de manera diferente en el comportamiento de la Mezcla Asfáltica; en la **Figura 2.3** se muestra un resumen de las propiedades de los agregados para mezclas asfálticas en caliente. Los diferentes tipos de agregados en cuanto a forma, fuente, tamaño o combinaciones deben cumplir los requerimientos de las especificaciones de la mezcla que van a constituir. Estos materiales pueden tener diferentes propiedades que podrían cambiar las características de construcción de la mezcla. El tipo de trituración usada para procesar el agregado puede afectar la forma de partícula, la cual en últimas circunstancias puede influir en los vacíos del agregado mineral y en el grado de fricción entre ellas. Se prefieren las partículas que se acerquen a la forma cúbica, para las mezclas. La mezcla escogida, así como el diseño de la estructura del agregado, se puede manejar de diferente manera a través de la planta.

Las propiedades más comunes para considerar apropiado un agregado para concreto asfáltico de buena calidad, son las siguientes: Graduación y tamaño máximo de partícula, Textura superficial, Limpieza, Capacidad de absorción, Dureza, Afinidad con el asfalto y Forma de la partícula.

2.5.1.1 Graduación y tamaño máximo de la partícula

2.5.1.1.1 Graduación

Todas las especificaciones de mezcla asfáltica en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de distribución de diferentes tamaños y que cada tamaño de partículas estén presentes en ciertos porcentajes mayores o menores

en una serie de tamices. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender como se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

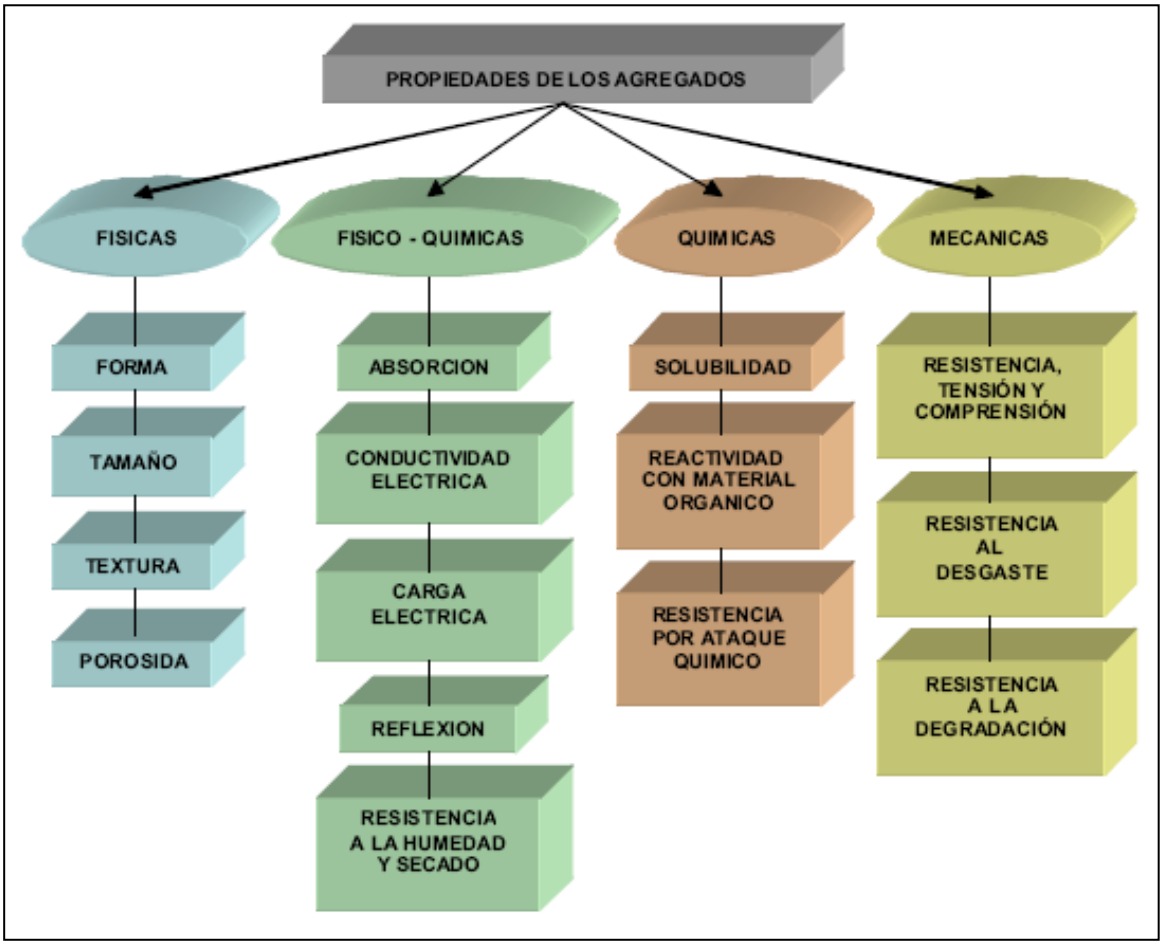


Figura 2.3. **Propiedades de los agregados.**

Tomado de "Fabricación, Colocación, Compactación y Tendencias Nacionales e Internacionales de Mezclas Asfálticas", Centro de Productividad y Competitividad del Oriente Colombiana. CPC.

2.5.1.1.2 Tamaño máximo de partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas para designar tamaños máximos de las partículas.

2.5.1.1.2.1 Tamaño máximo del agregado:

Es designado como el tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

2.5.1.1.2.2 Tamaño máximo nominal de agregado:

Es designado como el tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

Para ilustrar las diferencias entre las dos designaciones, considere el siguiente ejemplo: Se efectúa un tamizado de una muestra de agregado que va a ser usada en una mezcla de pavimentación. El tamiz de 19 mm (3/4 pulg) retiene 4 por ciento de todas las partículas de agregado. El tamiz de 12.5 mm (1/2 pulg), inmediatamente por debajo del tamiz de 19 mm, retiene un total de 18 por ciento de todas las partículas de agregado. En este caso, el tamaño máximo nominal es 19 mm (3/4 pulg), y el tamaño máximo es 25 mm (1 pulg).

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal. Por lo tanto, en el ejemplo anterior la mezcla se denominaría "mezcla de 25 mm (1/2 pulg)" de acuerdo al tamaño máximo del agregado, mientras que se denominaría "mezcla de 19 mm (3/4 pulg)" de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado. En la **Tabla 2.1**, pagina 27, se muestran algunas designaciones.

2.5.1.2 Textura superficial

La textura superficial (**Fotografía 2.6**) de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie de la carpeta de rodadura. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera (**Fotografía 2.6.a)**), como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del transito sea mas seguro.

Tabla 2.1 **Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado**

Tomado de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute. MS-22. Pág. 45.

Tamaño de Tamiz		**37.5 mm (1 ½ pulg)**	**25.0 mm (1 pulg)**	**19.0 mm (3/4 pulg)**	**12.5 mm (1/2 pulg)**	**9.5 mm (3/8 pulg)**
50 mm	(2 pulg)	100	---	----	----	----
37.5 mm	(1 ½ pulg)	90 a 100	100	-----	----	----
25.0 mm	(1 pulg)	----	90 a 100	100	----	----
19.0 mm	(3/4 pulg)	56 a 80	---	90 a 100	100	----
12.5 mm	(1/2 pulg)	-----	56 a 80	---	90 a 100	100
9.5 mm	(3/8 pulg)	-----	----	56 a 80	----	90 a 100
4.75 mm	(No. 4)	23 a 53	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 85
2.36 mm	(No. 8)*	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 58	32 a 67
1.18 mm	(No. 16)	------	-----	----	----	----
0.60 mm	(No. 30)	-----	-----	----	----	----
0.30 mm	(No. 50)	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
0.15 mm	(No. 100)	----	----	----	----	----
0.075 mm	(No. 200)**	0 a 5	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla+		3 a 8	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12

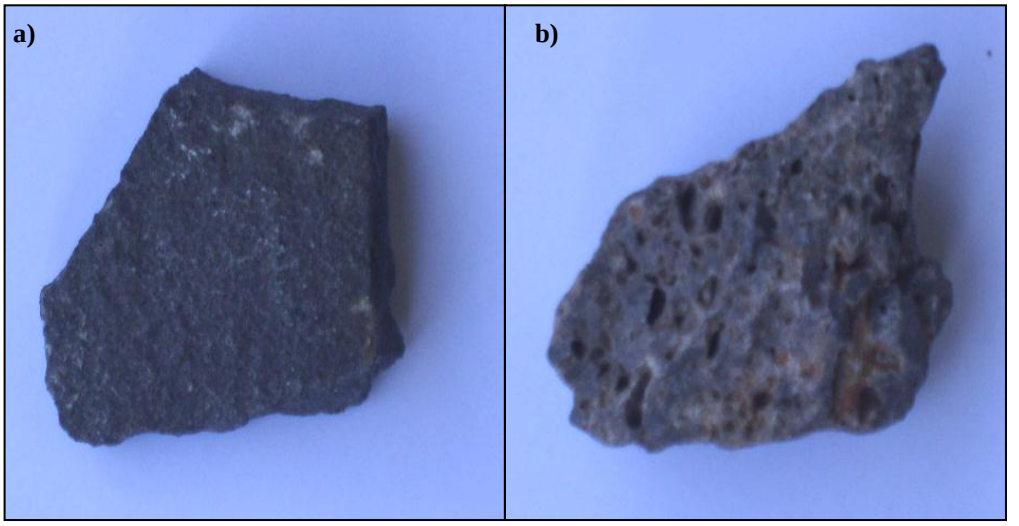
* Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resultaran en superficies de pavimento con textura relativamente fina.
Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultaran en superficies con textura relativamente áspera.

** El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla, y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se usa el Método D 423 o D 424 de la ASTM.

+ La cantidad de cemento asfáltico esta dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específicos de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resulta en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida deberá determinarse usando las pruebas adecuadas de laboratorio, o con base en la experiencia previa con mezclas similares, o mediante una combinación de ambos métodos.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas (ver **Fotografía 2.7**). Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula. No existe un método directo para evaluar la textura superficial; es tan solo, una característica, como la forma

de la partícula, que esta reflejada en la resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.



Fotografía 2.6 **Textura superficial de agregados.**
a) Textura homogénea, áspera
b) Agregado poroso

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía 2.7. **Agregados de textura superficial lisa repelen el asfalto.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

2.5.1.3 Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un limite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable mas fino que 0.075 mm (No. 200). El Ensayo No. 6 (Pág. 116) "Finos Plásticos en Agregados Graduados y Suelos por el Uso del Ensayo del Equivalente de Arena" (AASHTO T 176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

2.5.1.4 Capacidad de absorción

Todos los agregados son porosos, y algunos mas que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina la porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua ó asfalto (ver **Figura 2.4**) es un elemento importante de información; si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso (ver **Fotografía 2.6.b)**) requiere cantidades más grandes de asfalto que un agregado menos poroso.

2.5.1.5 Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben de tener mayor resistencia que los agregados usados en las

capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del transito. El Ensayo No. 11(Pág. 198) "Desgaste de la Máquina de Los Angeles" (AASHTO T 96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

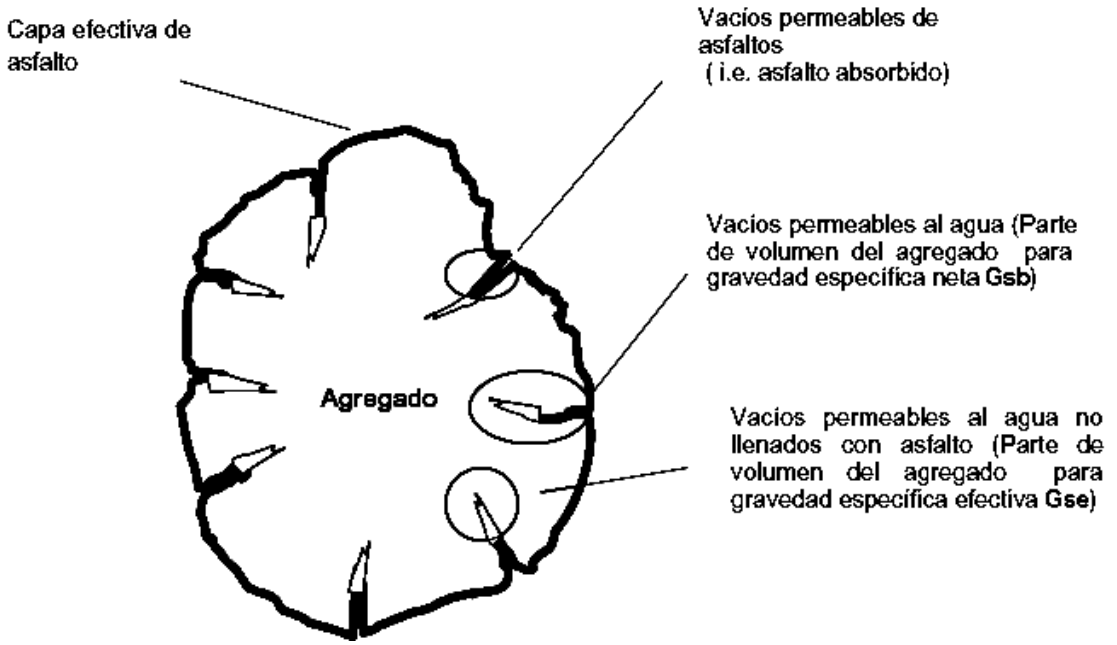


Figura 2.4 **Ilustración de los Parámetros de Diseño Volumétrico.**

Fuente: "Aspectos del diseño volumétrico de Mezclas Asfálticas", por: Paúl Garnica Anguas, Horacio delgado Alamilla. Publicación no. 246 del Instituto Mexicano del Transporte, 2004"

2.5.1.6 Afinidad por el asfalto

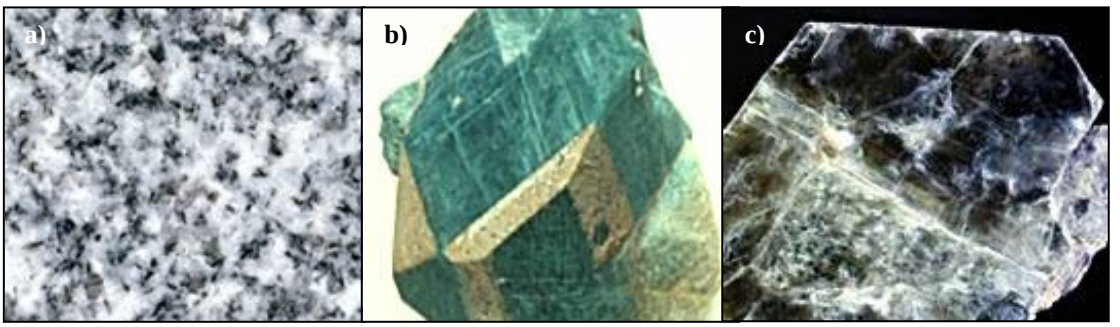
La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia a aceptar y retener una capa de asfalto Las calizas, las dolomitas y las rocas trapeanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies. Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente este tipo de agregado, tiende a

separarse de las partículas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos p.e. Cuarcita y algunos granitos, son agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución, los materiales de superficies lisas pueden repeler el asfalto ya que pueden contener los minerales antes mencionados, ver **Fotografía 2.8.**

Fotografía 2.8 **Materiales que pueden llegar a repeler el asfalto, cuarcitas, granitos.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

En la **Fotografía 2.9** se muestra el granito, que es la más común de todas las rocas ígneas intrusivas, está formado por cuarzo, feldespato y mica), el feldespato es el mineral más abundante del mundo, representa casi la mitad del volumen de la corteza terrestre.



Fotografía 2.9 **a) Granito b) Feldespato c) Moscovita (mica blanca).**

Fuente Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2003.

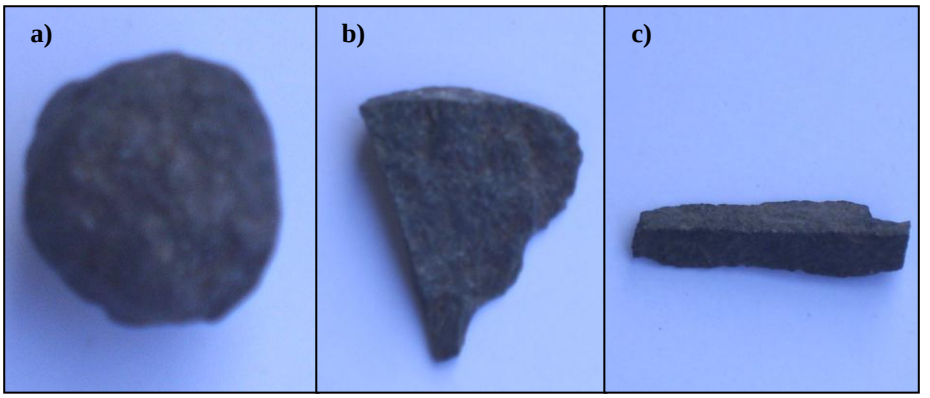
Esta muestra contiene dos tipos distintos de feldespato: microclina verde (también llamada amazonita) y ortoclasa blanca; la moscovita se conoce también como mica blanca se forma en rocas ígneas, en especial en aquellas de composición ácida, y en rocas metamórficas tales como esquistos.

2.5.1.7 Forma de la partícula

Las exigencias de forma de la partícula varían ligeramente para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides (**Fotografía 2.10**), evitando o restringiendo las formas redondas, planas, alargadas y en forma de lajas, ya que este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas. La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida, en la **Fotografía 2.11** se muestran tres formas de partícula que no son deseables en un agregado. Las partículas irregulares y angulares benefician al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas.

Fotografía 2.10 **Agregado de forma cúbica (agregado ideal), con aristas**.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Fotografía 2.11 **Formas no deseables en un agregado: a) redondeado b) planas c) alargado**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

2.6 ANALISIS GRANULOMETRICO

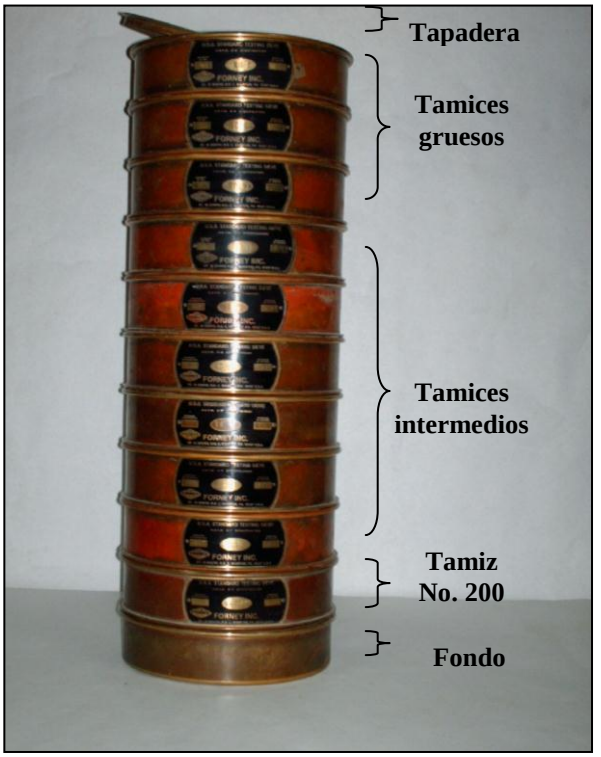
2.6.1. IMPORTANCIA DE UNA BUENA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO

La granulometría de las partículas es determinada por un análisis efectuado sobre las muestras de agregado, dicho análisis se realiza por una serie de tamices de diferentes tamaños que van desde una abertura mayor a un menor. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico (Ver **Fotografía 2.12**).

Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra. Las especificaciones de granulometría de agregado para una obra dada pueden ser presentadas gráficamente. El **Grafico 2.1.** muestra un gráfico típico de granulometría. En el gráfico, los tamaños de los tamices se muestran horizontalmente

tanto en unidades métricas como en unidades habituales, el porcentaje de material que pasa se muestra verticalmente. Las especificaciones para una obra dada están representadas por la región que esta entre las líneas punteadas color rojo. La formula de la mezcla de pavimentación esta representada por la línea sólida color negro.



Fotografía 2.12 **Tamices para ensayo granulométrico.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

La banda de control de granulometría para la obra - establecida como referencia para controlar la granulometría en la obra - esta situada dentro de la región encerrada por las líneas azules.

Examinemos el **Grafico 2.1.**, que nos indica un gráfico de granulometría. Tomando el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulg) como ejemplo, podemos observar que la banda de control de graduación permite que pase, por este tamiz, el 65 a 80 por ciento de agregado. La formula de la mezcla de la obra requiere que el 72 por ciento de agregado pase a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulg). Sin embargo, el margen usado durante el

mezclado y la construcción esta entre el 65 y el 80 por ciento (material pasando el tamiz). Un gráfico de granulometría permite que el inspector comprenda, rápida y fácilmente, las graduaciones requeridas por la banda de especificaciones, por la formula de mezcla de la obra, y por la banda de control de graduación de la obra.

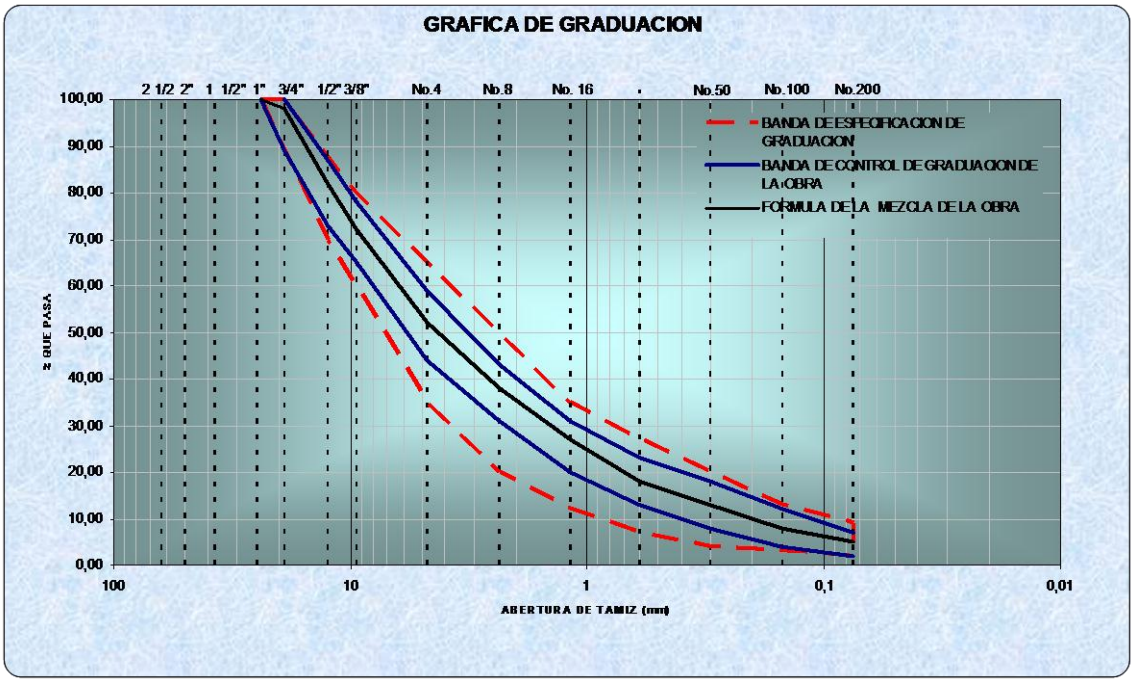


Grafico 2.1 **Banda de especificación, de control y de obra**

2.6.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA.

En la **Tabla 2.2** se muestran los tamaños y números de tamices más frecuentemente usados para determinar la graduación de agregado para mezclas asfálticas de pavimentación. Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son: tamizado en seco, Ensayo No. 3 (Pág. 70): "Análisis por Tamizado de Agregados Fino y Grueso" (AASHTO T 27) y tamizado por lavado, Ensayo No. 4 (Pág. 89): "Materiales

más Finos que Pasan el Tamiz de 75-µm (No. 200) en Agregado Minerales por Lavado, (AASHTO T 11).

Tabla 2.2 **Tamices Típicos Usados para Agregado Grueso y fino.**

Fuente: Tamices de Tela Metálica para Propósitos de Ensayo, AASHTO M 92.

Designación de Tamices para Agregados Gruesos		Designación de Tamices para Agregados Finos	
Sistema Métrico	**Sistema Habitual Norteamericano**	**Sistema Métrico**	**Sistema Habitual Norteamericano**
63 mm	2 ½ pulg	2.36 mm	No.8
50 mm	2 pulg	1.18 mm	No.16
37.5 mm	1 ½ pulg	0.60 mm	No.30
25.0 mm	1 pulg	0.30 mm	No.50
19.0 mm	¾ pulg	0.15 mm	No.100
12.5 mm	½ pulg	0.075 mm	No.200
9.5 mm	3/8 pulg		
4.75 mm	No. 4		

2.6.2.1 Tamizado en seco.

Se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

- Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un "cuarteador" de muestras, o mediante cuarteo manual.
- Los material finos y gruesos son separados usando un tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- Las muestras son secadas hasta un peso constante.
- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.
- El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y en el plato que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).
- En el Ensayo No. 3 (Pág. 70), (AASHTO T 27) puede encontrar el procedimiento para tamizado en seco.

2.6.2.2 Tamizado por vía húmeda

- Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo a través del tamiz No. 200 para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.
- Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas. La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.
- En el Ensayo No. 4 (Pág. 89), (AASHTO T 11) puede encontrar un procedimiento más detallado para tamizado por vía húmeda.

2.6.3. IMPORTANCIA Y EFECTO DEL RELLENO O POLVO MINERAL.

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y procesados, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua; sin embargo, un pequeño porcentaje de más, ó de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla parezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación parecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados. Las especificaciones para relleno mineral son contenidas en la designación AASHTO M 17: “Filler Mineral para Mezclas Bituminosas para Pavimentación”.

2.6.4 CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL AGREGADO

2.6.4.1 Análisis granulométrico

La **Tabla 2.3** ilustra el método usado para determinar el porcentaje de partículas, de tamaño variable, a partir de los pesos de las fracciones obtenidas en el tamizado. Las granulometrías se expresan ya sea en porcentaje retenido parcial (es el porcentaje

total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado y es retenido en el tamiz que sigue hacia abajo), porcentaje total retenido acumulado (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que es acumulado en un tamiz dado) y en el porcentaje total que pasa (es el porcentaje total, en peso, de la muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado).

Tabla 2.3 **Calculo de granulometría de agregados.**

Abertura del tamiz		Peso retenido en cada tamiz (gramos)	Peso que pasa cada tamiz (gramos)	% Retenido		% que pasa
pulg	mm			Parcial	Acumulado	
3/4”	19.0	0	1135	0	0	100
1/2”	12.5	56	1079	5	5	95
3/8”	9.5	171	908	15	20	80
No. 4	4.75	262	646	23	43	57
No. 8	2.36	203	443	18	61	39
No.30	0.6	182	261	16	77	23
No. 50	0.3	68	193	6	83	17
No. 100	0.15	57	136	5	88	12
No. 200	0.075	51	85	4.5	92.5	7.5
Pasa No. 200		85		7.5	100	0
TOTAL		1135				

La granulometría del agregado, después de ser calculada, se dibuja como una curva continua. Dos tipos de curvas generalmente son usadas: curvas de gráficos semi-logaritmico y curvas de gráficos exponenciales. El **Grafico 2.2** es semi-logarítmico y es similar al observado anteriormente en el **Grafico 2.1**, en donde se presenta la formula de mezcla de la obra, la banda de especificaciones, y la banda de control de graduación. La línea mostrada en el **Grafico 2.2** ha sido dibujada utilizando información de un análisis de tamizado en seco. El porcentaje que pasa cada tamiz es dibujado como un punto sobre la línea vertical correspondiente. Después de que se han dibujado todos los puntos para cada tamiz con su respectivo porcentaje, estos son unidos por medio de una línea continua. Esta línea representa la curva de granulometría del agregado en cuestión. Uno puede saber inmediatamente si la granulometría del agregado cumple con las especificaciones de graduación, si se dibuja la banda de especificación (**Grafico 2.1**).

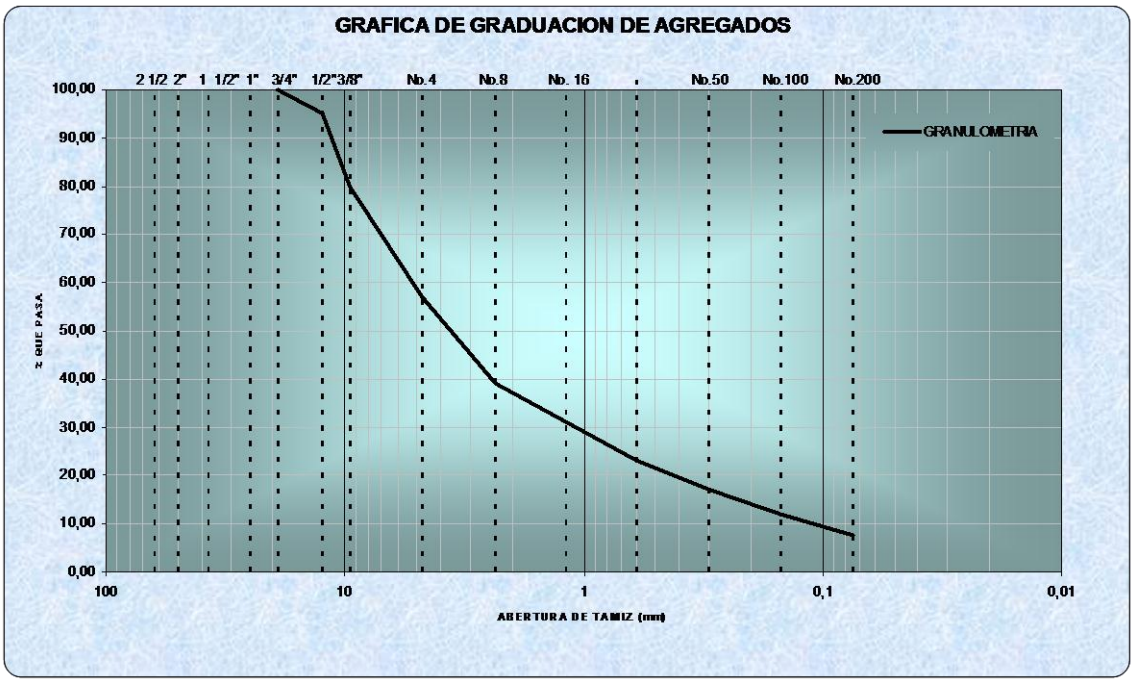


Grafico 2.2 **Curva de Graduación semi-logaritmica.**

Fotografía tomada en Planta Trituradora Colima MultiPav.

2.6.4.2 Cálculos de proporcionamiento

El análisis de granulometría de agregado, y la combinación de agregados para obtener la granulometría deseada, son pasos importantes en el diseño de la mezcla. La granulometría del agregado debe satisfacer los requisitos de graduación impuestos por las especificaciones del proyecto y debe producir un diseño de mezcla que cumpla con los criterios descritos en el método de diseño. Además, los agregados deberán ser los más apropiados y económicos que puedan ser encontrados. En el capitulo IV se desarrollaran los métodos de proporcionamiento de agregado: analíticos y gráficos, para dosificar dos y tres agregados. Logrando con estos métodos que la combinación granulométrica cumpla con las especificaciones que son requeridas en el proyecto.

2.6.4.3 Cálculos de peso específico

El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso. Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso especifico mas alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, mas asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico mas alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire, como será explicará mas adelante en el Capitulo IV Diseño de Mezclas. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conforman la mezcla; el resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son, hasta cierto punto, porosos. Se han desarrollado tres tipos de peso específico para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que ésta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final.

Estos tres tipos son: Peso especifico total, Peso específico aparente, y Peso específico efectivo.

- *El peso específico total* – de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

- *El peso específico aparente* – no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al mojar la muestra.
- *El peso específico efectivo* – excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto.

El peso específico total asume que los poros que absorben agua no absorben asfalto. El peso específico aparente asume que todos los poros que son permeables al agua absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones, excepto en casos muy raros, es verdadera. Por lo tanto, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que mas se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

2.7. ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (M.A.C.).

2.7.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Son aquellas que se utilizan para establecer los requisitos de calidad de los materiales pétreos que son utilizados para la elaboración del esqueleto de una carpeta asfáltica, ya que es el agregado que proporcionará la mayor resistencia a las cargas que ejercerá el tráfico he aquí la importancia de presentar las mejores propiedades establecidas en normas, disposiciones tanto internacionales como nacionales (SIECA), relativos a la ejecución de la obra.

Proveen de un lenguaje común, preciso, y libre de ambigüedades que regula y facilita las interrelaciones que se darán entre las personas involucradas en el proyecto.
Las especificaciones técnicas a su vez recurren a normas ya desarrolladas internacionalmente (Ej. ASTM, AASHTO o FP, etc.), que conforman un estándar de terminologías, ensayos, patrones, etc. que facilitan y hacen útil la experiencia ingenieril en el intercambio de conocimientos tecnológicos a nivel internacional, así como la facilitación de licitaciones internacionales, enmarcadas en la globalización comercial.

Las especificaciones técnicas están incluidas y juegan un papel importante en los documentos de licitación y contratación del contratante (propietario).

En nuestro país y en Centroamérica se crearon especificaciones técnicas de carácter regional conocidas como S.I.E.C.A. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana), estas han sido el resultado de esfuerzos de integración logrados a través de los últimos años, y por convenio pretenden ser obligatorias para todos los países miembros. Estas especificaciones están clasificadas en:

- **Generales**: Contiene las actividades aplicadas a obras de Mantenimiento en todos los países centroamericanos y
- **Particulares**: modifican las especificaciones generales para adecuarlas a las condiciones prevalecientes en los contratos específicos de mantenimiento vial, en cada país centroamericano.

Debido a eso es que las especificaciones técnicas que interesan a nuestro documento, parten de las especificaciones generales desarrolladas por S.I.E.C.A. en el "**Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales",** en dicho manual se establecen los requisitos que deben cumplir los materiales pétreos, asfalto y mezcla asfáltica en caliente, entre otros factores relacionados con dicha mezcla.

2.7.2 REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS AGREGADOS

2.7.2.1 Agregado grueso.

Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos siguientes:

(1) Abrasión de los Angeles, AASHTO T 96	40% máx.
(2) Sanidad en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104	12% máx.
(3) Caras fracturadas, ASTM D 5821	75% mín.
(4) Indice durabilidad (agregado grueso), AASHTO T 210	35% mín.

No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble. El residuo insoluble debe ser menor del 25%, de acuerdo a ASTM D 3042.

2.7.2.2 Agregado fino.

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra quebrada cernida, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante puede satisfacer la granulometría requerida según **AASHTO M 29** incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

(1) Indice de durabilidad (fino), AASHTO T 210 35% min

(2) Equivalente de arena, AASHTO T 176 45% mín.

2.7.2.2.1 Especificaciones para agregado fino en mezclas de pavimentos bituminosos, según AASHTO M 29

La graduación del agregado fino será conforme a la graduación en la **Tabla 2.4** para el número de graduación especificado en la orden, u otra graduación designada por el comprador.

Tabla 2.4 **Requerimientos de Graduación para Agregados Finos.**

Tamaño de tamiz		Cantidad más fina que cada tamiz de laboratorio (Aberturas cuadradas), Masa, %				
		Graduación No. 1	Graduación No. 2	Graduación No. 3	Graduación No. 4	Graduación No. 5
3/8”	9.5 mm	100	—	—	100	100
No. 4	4.75 mm	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
No. 8	2.36 mm	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
No. 16	1.18 mm	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
No. 30	600µm	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
No. 50	30µm	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
No. 100	150µm	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
No. 200	75µm	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	—

Límites de variabilidad en la graduación— Para continuar envíos de agregado fino de una fuente dada, el módulo de finura no variará más de 0.25 del módulo de finura base. El módulo base de finura será el valor que es típico de la fuente, y estará resuelto de pruebas previas, o si ninguna de las pruebas previas existen, del promedio de los valores del módulo de finura para las primeras 10 muestras (o todas las muestras precedentes si son menos de 10) en la orden. Si es necesario, el módulo de finura base puede ser cambiado cuando sea aprobado por el comprador.

Indice de plasticidad — El índice de plasticidad de la fracción que pasa el tamiz de 425-µm (No. 40) no excederá de 4.0.

El siguiente requisito suplementario será aplicable sólo cuando sea especificado por el comprador en el contrato o la orden.

Sanidad de Sulfato — El agregado fino, estando sujeto a cinco ciclos del ensayo de sanidad según T 104, tendrá una pérdida de peso de no más de 15 por ciento cuando el sulfato de sodio es usado o 20 por ciento cuando el sulfato de magnesio es usado. Si la sal a ser usada no es indicada por el comprador, entonces el agregado fino será aceptable si llena los requisitos cuando sea probado con cualquier sal.

2.7.2.3 Granulometría de agregados combinados (finos y gruesos).

Consiste en la combinación de diferentes tamaños de agregado, que debe llenar los requisitos siguientes:

(1) Granulometría	Tabla 2.4
(2) Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112	1% máx.
(3) Libre de materiales vegetales, basura, terrones De arcilla y sustancias deletéreas.	

Tabla 2.4

Rango de Valores para Graduación de Agregados para Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente

Estándar FP-2003, Sección 703, tabla 703.4

Tamiz	Porcentaje de masa pasando, Designación de tamices (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
	Designación de la Graduación					
	A	B	C	D	E	F
37.5 mm	100(1)					
25.0 mm	97-100(1)	100(1)	100(1)			
19.0 mm	—	97-100(1)	97-100(1)	100(1)	100(1)	
12.5 mm	—	76-88(5)	*(5)	97-100(1)	97-100(1)	
9.50 mm	53-70(6)	—	*(6)	—	*(5)	100(1)
4.75 mm	40-52(6)	49-59(7)	*(7)	57-69(6)	*(6)	33-47(6)
2.36 mm	25-39(4)	36-45(5)	*(5)	41-49(6)	*(6)	7-13(4)
600 µm	12-22(4)	20-28(4)	*(4)	22-30(4)	*(4)	—
300 µm	8-16(3)	13-21(3)	*(3)	13-21(3)	*(3)	—
75 µm	3-8(2)	3-7(2)	3-8(2)	3-8(2)	3-8(2)	2-4(2)

(1) Procedimientos estadísticos no aplican.

* El contratante específica el valor del rango y límites.

( ) Desviación permisible (±) de el rango de valores.

2.8 GUIAS DE ENSAYOS PARA AGREGADOS.

La nomenclatura que se le ha dado a cada guía de ensayo, es diferente a la de la teoría. Para poder llevar un orden, a la hora de que el lector necesite copiar un ensayo. La **Tabla 2.5** muestra los ensayos que se desarrollan en esta sección:

Tabla 2.5 **Lista de Ensayos que se desarrollan en esta sección:**

Ensayo Numero	Norma AASHTO	Titulo
1.	T 2-91 (2000)	Muestreo de Agregados
2.	T 248-02	Reducir Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo
3.	T 27-99	Análisis por Malla de Agregados Fino y Grueso
4.	T 11-97 (2000)	Materiales más Finos que Pasan el Tamiz de 75 µm(No. 200) en Agregados Minerales por Lavado
5.	T 19/T19M-00	Densidad Bulk ("Peso Unitario") y Vacíos en los Agregados
6.	T 176-02	Finos Plásticos en Agregados Calificado y Suelos por el Uso del Ensayo Equivalente de Arena
7.	D 4791-99	Partículas Planas, Partículas Alargadas o Partículas Planas y Alargadas en Agregado Grueso
8.	T 104-99(2003)	Ensayo de Sanidad de Agregados por Sulfato de Sodio
9.	T 84-00	Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino
10.	T 85-91 (2000)	Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso
11.	T 96-02	Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Impacto y Abrasión en la Máquina de Los Angeles

Nota:

La nomenclatura para **Tablas, Gráficos, Fotografías** y **Figuras**; es como el siguiente ejemplo: **Tabla E 1.1**, se refiere en primer lugar a la **Tabla**, (**Grafico, Fotografía o Figura**), la **E** de ensayo; seguido del número correlativo del numero de ensayo **1.;** y finalmente el **.1** es el inicio de la numeración correlativa para la **Tabla**, (**Grafico, Fotografía o Figura**), del ensayo numero uno.

Ensayo No. 1.

MUESTREO DE AGREGADOS

Basado en norma AASHTO: T 2-91 (2000)
Con equivalencia en ASTM: D 75-87 (1992)

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento para realizar un muestreo de agregados en campo.
- Identificar el material y equipo utilizado para la realización de este ensayo.
- Comprenderá la importancia de realizar un buen muestreo para obtener una muestra que sea representativa con las propiedades del material en bruto.
- Reconocer el equipo necesario para la ejecución del ensayo.

2. ALCANCE

2.1 Esta práctica cubre el muestreo de agregados gruesos y finos para los siguientes propósitos:

2.1.1 Investigación preliminar de la fuente potencial de suministro.

2.1.2 Control del producto en la fuente de suministro,

2.1.3 Control de las operaciones en el sitio de uso, y

2.1.4 Aceptación o rechazo de los materiales.

NOTA 1 – Los planes de muestreo, aceptación y ensayos de control varían con el tipo de construcción en la cual el material es utilizado. Los cuales deberán estar basados en las Prácticas ASTM E 105 y ASTM D 3665.

2.2 Los valores dados en unidades de libra-pulgada deben ser considerados como el estándar.

2.3 Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso, si existe alguno. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las

prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1. Normas AASHTO:

T 248 Práctica para Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

3.2. Normas ASTM:

D 2234 Método de Ensayo para Recolección de Muestras Grandes de Carbón.

D 3665 Práctica para Muestreo Aleatorio de Materiales de Construcción.

E 105 Práctica para Muestreo Probabilistico de Materiales.

E 122 Práctica para Elegir el Tamaño de la Muestra para Estimar la Calidad Promedio de un Lote ó un Proceso.

E 141 Práctica para Aceptación de Evidencia Basada en los Resultados del Muestreo Probabilistico.

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1 El muestreo es igualmente importante como el ensayo, y el encargado de realizarlo tendrá mucho cuidado para obtener muestras que exhiban la naturaleza y condición de los materiales que representan.

4.2 Las muestras para los ensayos de investigación preliminar son obtenidas por la parte responsable para el desarrollo de la fuente potencial (**NOTA 2**). Las muestras de materiales para el control de la producción en la fuente o control en el sitio de trabajo son obtenidas por el fabricante, contratista, u otra parte responsable para ejecutar el trabajo. Las muestras para ser usadas en ensayos de aceptación o decisiones de rechazo son obtenidas por el comprador ó su representante autorizado.

NOTA 2 - La investigación preliminar y el muestreo de la fuente potencial y tipos de agregado, tiene un lugar muy importante en determinar la disponibilidad y compatibilidad de los constituyentes más grandes e individuales que participan dentro de la construcción. Esto influye en el tipo de construcción desde el punto de vista económico y predominando la necesidad de controlar el material para asegurar la durabilidad de la estructura resultante, desde el punto de vista del agregado. Esta investigación deberá

realizarse sólo por una persona responsable, adiestrada y con experiencia. Para una mayor comprensión vea el 1.0 Apéndice, de este ensayo.

5. MUESTRAS SEGURAS

5.1 *General.*— Dónde sea practicable, las muestras a ser ensayadas para calidad serán obtenidas del producto terminado. Las muestras del producto terminado a ser ensayadas para pérdida por abrasión el tamaño de las partículas no deberán estar sujetas a trituración o reducción manual en la preparación del ensayo por abrasión, a menos que el tamaño del producto terminado sea tal que requiera otra reducción para propósitos de ensayo.

5.2 *Inspección.*— El material será inspeccionado para determinar variaciones apreciables. El vendedor proveerá el equipo adecuado y necesario para la adecuada inspección y el muestreo.

5.3 *Procedimiento:*

5.3.1 *Muestreo de un Flujo de Descarga de Agregados (Descarga de una Banda o una Tolva).*— De la producción seleccione las unidades a ser muestreadas por un método aleatorio, de acuerdo a la practica ASTM D 3665. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionados aleatoriamente desde la unidad que está siendo muestreada, y combínese para formar una sola muestra de campo cuya masa sea igual o exceda el mínimo recomendado en 5.4.2. Tome cada porción desde la sección transversal completa del flujo del material que está siendo descargado. Usualmente es necesario tener un recipiente especial construido para usarlo en cada planta en particular. Este dispositivo consiste en una bandeja de tamaño suficiente como para interceptar la sección transversal completa del flujo de descarga y retener una cantidad adecuada de material para que este no se caiga de ella. Puede ser necesario tener un juego de rieles para soportar la bandeja cuando ésta pase bajo el flujo de descarga. En la medida que sea posible, mantenga las tolvas continuamente llenas o casi llenas para reducir la segregación.

NOTA 3- Muestrear de la descarga inicial o algunas toneladas finales desde una tolva o una banda transportadora puede incrementar la posibilidad de obtener material segregado, lo que debe ser evitado.

5.3.2 *Muestreo desde una Banda Transportadora*.— Seleccione las unidades de la producción a ser muestreadas por un método aleatorio, de acuerdo a la práctica ASTM D 3665. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad que está siendo muestreada y combínelas para formar una muestra de campo cuya masa sea igual o exceda el mínimo recomendado en la sección 5.4.2. Detenga la banda transportadora cuando se vayan a obtener las porciones de las muestras. Inserte dos escantillones en el agregado, cuya forma coincida con la forma de la banda, espaciándolos de tal forma que el material que quede entre ambos, tal que produzca una porción para llegar a obtener el peso requerido. Cuidadosamente recoja con una pala el material que ha quedado entre los dos escantillones y colóquelo en un contenedor adecuado, recoja después los finos de la banda con una brocha y una pala y colóquelos en el mismo contenedor.

5.3.3 *Muestreo desde un Apilamiento o Unidad de transporte.*— Evite muestrear agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino de un apilamiento o unidad de transporte siempre que sea posible, particularmente cuando la muestra se toma con el propósito de determinar las propiedades del agregado que puedan depender básicamente de la graduación de la muestra. (Ver **Fotografía E.1.1)**. Pero si las circunstancias lo hacen necesario obtener muestras de un apilamiento de agregado grueso o de agregado grueso y fino combinado, debe diseñarse un plan de muestreo para el caso específico que se tiene bajo consideración. Esta propuesta permitirá, a quien realice el muestreo, desarrollar el plan que debe ser considerado aceptable por todas las partes involucradas, para que exista confianza en los resultados obtenidos de dicho muestreo. El plan de muestreo definirá el número de muestras necesarias para representar lotes y sub-lotes de tamaños específicos. Los principios generales para el muestreo de apilamientos son aplicables a muestreo de camiones, vagones, barcazas y otras unidades de transporte. Para información general en muestreo apilamientos ver el 1.0 Apéndice, Pág. 53.

5.3.4 *Muestreo desde la carretera (Bases y Sub-bases).* — En la construcción o proyecto, muestrear las unidades seleccionadas por un método aleatorio, de acuerdo a la

práctica ASTM D 3665. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionados al azar de la unidad que esta siendo muestreada y combínelas para formar una sola muestra de campo cuya masa iguale o exceda el mínimo recomendado en la sección 5.4.2. En la carretera tome cada porción completa de la capa del material, teniendo que excluir cualquier material que no pertenezca a la capa. Marque claramente las áreas específicas desde las cuales será removida cada porción: el uso de una plantilla metálica colocada sobre el área es de una gran ayuda para asegurar que las porciones sean aproximadamente de la misma masa.

Fotografía E 1.1.

Muestreo de agregados de un apilamiento.
a) Muestreo de grava 1/2" a 1/4"
b) Muestreo de grava 1/4" a 0"

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

5.4 *Número y Masa de la Muestra de Campo.*

5.4.1 El número de las muestras de campo requeridas (obtenidas por uno de los métodos descritos en la sección 5.3) depende de la importancia de las propiedades a medirse y de sus variaciones. Designe cada unidad de la cual se va a obtener una muestra de campo, antes de realizar la toma de muestras. El número de muestras de campo deben ser suficientes para dar la confiabilidad deseada en los resultados de los ensayos.

Nota 4 – Guías para determinar el número de muestras requeridas para obtener el nivel deseado de confianza en los resultados de ensayo pueden encontrarse en el Método de Ensayo ASTM D 2234, Practica ASTM E 105, Practica ASTM E 122, y ASTM E Practica E 141.

5.4.2. Las masas de las muestras de campo que se necesitan son tentativas. Las masas pueden estar basadas en el tipo y numero de ensayos a los cuales el material será sometido y en la obtención de suficiente material para la adecuada ejecución de estos ensayos. Los estándares de aceptación y ensayos de control están considerados por las especificaciones ASTM, las que especifican el tamaño de la muestra de campo requerida para cada ensayo.

En términos generales, las cantidades especificadas en la **Tabla E 1.1**, proporciona material suficiente para graduaciones rutinarias y análisis de calidad. Obtenga las porciones para los ensayos de la muestra de campo de acuerdo con la Practica AASHTO T 248 o como sea requerido por otros métodos de ensayo aplicables.

Tabla E 1.1 **Tamaño de las muestras.**

Tamaño máximo Nominal del Agregado [A]	Masa Mínima Aproximada de Muestra de Campo, lb (Kg)[B]
Agregado fino	
No. 8 (2.36 mm)	25 (10)
No. 4 (4.75 mm)	25 (10)
Agregado grueso	
3/8 pulg (9.5 mm)	25 (10)
½ pulg (12.5 mm)	35 (15)
¾ pulg (19.0 mm)	55 (25)
1 pulg (25.0 mm)	110 (50)
1 ½ pulg (37.5 mm)	165 (75)
2 pulg (50 mm)	220 (100)
2 ½ pulg (63 mm)	275 (125)
3 pulg (75 mm)	330 (150)
3 ½ pulg (90 mm)	385 (175)

A- Para agregado procesado, el tamaño máximo nominal de la partícula es el tamaño de tamiz más grande sujeto a la especificación aplicable, en el cual cualquier el material puede ser retenido.

B- Para la combinación de agregado grueso y fino (por ejemplo, base o subbase) el peso mínimo de agregado será el mínimo de agregado grueso más 25 lb (10 kg).

6. ENVÍO DE MUESTRAS

6.1 Transporte el agregado en bolsas u otros contenedores construidos para evitar pérdidas o contaminación de alguna parte de la muestra, o daño del contenido durante el manejo y envío.

6.2 Los contenedores para envíos de muestras de agregado deben tener una identificación individual adecuada fijada e incluida como parte del reporte de campo, registro de laboratorio y reporte de ensayo.

1.0 APENDICES

1.X1. MUESTREO DE AGREGADOS EN APILAMIENTOS O UNIDADES DE TRANSPORTE

1.X1.1 Alcance

1.X1.1.1 En algunos casos es obligatorio muestrear agregados que han sido almacenados en apilamientos o cargados en vagones, barcazas o camiones. En tales casos el procedimiento debe asegurar que la segregación no presente una seria desviación en los resultados.

1.X1.2 Muestreo de Apilamientos.

1.X1.2.1 En el muestreo de material en apilamientos es muy difícil obtener muestras imparciales, debido a la segregación, la cual ocurre frecuentemente cuando el material es apilado y las partículas más gruesas ruedan hacia la base exterior del apilamiento. Para agregado grueso o mezcla de agregados grueso y fino, se hará todo el esfuerzo por emplear los servicios de equipos mecanizados para desarrollar una separación, muestree pequeñas porciones de materiales tomados de varios niveles y localizaciones en el apilamiento, después las porciones deben ser combinadas para formar la muestra de campo. Si es necesario, indicar el grado de variabilidad existente en el apilamiento, las muestras deben ser tomadas en distintas áreas del apilamiento.

1.X1.2.2 En donde no es posible emplear equipo mecanizado, se debe muestrear del apilamiento al menos tres porciones tomadas del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen del apilamiento. Introduzca una tabla verticalmente en el apilamiento justamente arriba del punto de muestreo para prevenir la segregación. En el muestreo de un apilamiento de agregado fino la capa externa, puede haberse segregado, la cual debe ser removida y tome la muestra por debajo del material. Tubos muestreadores de diámetro mínimo de aproximadamente 30 mm (1 ¼ pulg) y de longitud mínima de 2 m (6 pies) pueden ser insertados en el apilamiento en localizaciones aleatorias para extraer un mínimo de cinco porciones de material para formar la muestra de campo.

1.X1.3 Muestreo en Unidades de Transporte

1.X1.3.1 En el muestreo de agregados gruesos desde vagones o barcazas, se hará un esfuerzo por emplear un equipo mecanizado capaz de exponer el material a varios niveles localizados aleatoreamente. En donde, no es posible emplear equipo mecanizado, un procedimiento común requiere de la excavación de tres o más zanjas a través de la unidad, en los puntos que desde una apariencia visual, dé una estimación razonable de las características de la carga. El fondo de la zanja deberá estar aproximadamente nivelada, con ancho y profundidad bajo la superficie de al menos 0.30 m (1 pie). Un mínimo de tres porciones serán tomadas a lo largo de cada zanja en puntos espaciados aproximadamente iguales, introduciendo una pala en el material. El agregado grueso en camiones será muestreado esencialmente de la misma manera como para vagones o barcazas, excepto por el ajuste del número de porciones según el tamaño del camión. Para agregado fino en unidades de transporte, los tubos muestreadores como los descritos en 1.X1.2 pueden ser usados para extraer un número apropiado de porciones para formar la muestra.

1.X2. EXPLORACIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE AGREGADO

1.X2.1 Alcance

1.X2.1.1 El muestreo para la evaluación de fuentes potenciales de agregado deberá ser realizado por una persona responsable, con suficiente conocimiento y experiencia. Por la gran variedad de condiciones bajo las cuales el muestreo puede ser hecho no se logran describir procedimientos detallados aplicables para todas las circunstancias. Este apéndice pretende proveer una guía general y enumerar referencias más amplias.

1.X2.2 Muestreo de Rocas en una cantera o manto.

1.X2.2.1 *Inspección.*- La superficie de una cantera o manto rocoso será inspeccionada para determinar y registrar variación permisible en los estratos. Las diferencias en color y estructura deberán ser registradas.

1.X2.2.2 *Muestreo y tamaño de la Muestras.*- Muestras separadas deberán tener una masa de al menos 50 lb (aproximadamente 25 Kg) y serán tomadas de diferentes estratos. La muestra no deberá incluir material desmenuzable o alargado, ya que la presencia de esta, no es adecuada para el propósito final. Una o más piezas de cada muestra será de por lo menos 6X6X4 pulgadas (150X150X100 mm) de tamaño, ubicando la extracción en un plano estratigráfico, las piezas deberán estar libre de grietas, fisuras o fracturas.

1.X2.2.3 *Registro.*- A demás, de la información general que debe acompañar a todas las muestras, la siguiente información debe acompañar a todas las muestras tomadas de superficie de cantera o manto rocoso.

1.X2.2.3.1 La cantidad aproximadamente disponible. (Si la cantidad es muy grande, entonces esto puede registrarse como prácticamente ilimitado).

1.X2.2.3.2 Cantidad y característica de sobrecarga.

1.X2.2.3.3 Un registrado detallado para mostrar la localización de material representado por cada muestra

NOTA 1.X 2.1- Un esquema, plan, y elevación, mostrando el espesor y localización de los diferentes estratos es recomendada para este propósito.

1.X2.3 Muestreo de bancos de arena y depósitos de grava a orilla de la carretera.

1.X 2.3.1 *Inspección.*- Las fuentes potenciales de inspección de bancos de arena y grava pueden incluir previamente trabajados de excavación los cuales tienen una superficie expuesta o un depósito potencial descubierto se realiza por la interpretación de la fotografía aérea directa, exploración geofísica, u otros tipos de investigación del terreno.

1.X2.3.2 *Muestreo.*- Las muestras deberán ser seleccionadas de cada estrato diferente en el depósito elegido por la persona encargada. Una estimación de la cantidad de los diferentes materiales puede ser hecha. Si el depósito es trabajado como un banco excavado o de superficie expuesta, las muestras deben ser tomadas de la superficie expuesta verticalmente, de la cúspide al fondo, así como para representar los materiales a utilizarse. El material dañado o averiado no debe ser incluido en la muestra. Se deberán excavar o taladrar agujeros para ensayos en varios lugares en el depósito para determinar la calidad del material y la extensión del depósito que será analizado. El número y la profundidad de las excavaciones o agujeros de ensayos dependerán de la cantidad del material necesitado, topografía del área, naturaleza de los depósitos, características del material, y potencial del material en el depósito, son necesarios. Si la inspección visual indica que hay variación considerable en el material, entonces las muestras individuales de material deberán ser seleccionadas en cada estrato adecuadamente definido. Cada muestra deberá ser muy bien mezclada y cuarteada si es necesario, a fin de que la muestra de campo que se obtuvo sea de al menos 25 lb (l2 kg) para arena y 75 lb (35 kg) si el depósito contiene una cantidad apreciable de agregado grueso

1.X2.3.3 *Registro.*- A demás, de la información general que acompaña a todas las muestras, la siguiente información deberá acompañar a las muestras de los bancos de arena y grava de las carreteras:

1.X2.3.3.1 Localización del suministro.

1.X2.3.3.2 Estimación de la cantidad aproximada disponible.

1.X2.3.3.3. Cantidad y el carácter de sobrecarga.

1.X2.3.3.4 Longitud de acarreo al sitio propuesto de trabajo.

1.X2.3.3.5 Característica de acarreo (el tipo de calle, pendiente máxima, etc.)

1.X2.3.3.6 Detalles en lo que se refiere a la extensión y la localización del material representado por cada muestra.

NOTA 1.X2.2 - Un boceto de un plano de elevaciones, mostrando el espesor y la localización de diferentes estratos, es recomendado para este propósito.

1.X3. NUMERO Y TAMAÑO DE PORCIONES NECESARIAS PARA ESTIMAR LAS CARÁCTERISTICAS DE LA UNIDAD MUESTREADA

1.X3.1 Alcance.

1.X3.1.1 Este apéndice presenta el uso relacionado por el comité responsable en el desarrollo de esta práctica.

1.X3.2 Descripción de términos específicos para este estándar

1.X3.2.1 *Muestra de Campo.*- Cantidad de material para ensayar, de suficiente tamaño que provea una estimación aceptable de la calidad promedio de una unidad.

1.X3.2.2 *Lote.*- Cantidad aislada material en bruto de una fuente aislada, asumiendo que ha sido producida por el mismo proceso (por ejemplo, la producción de un día o una masa específica o volumen).

1.X3.2.3 *Porción de ensayo.*- Cantidad del material de suficiente tamaño extraído de la muestra de campo por un procedimiento diseñado para asegurar una representación exacta de la muestra de campo, y de su unidad muestreada.

1.X3.2.4 *Unidad.*- Una revoltura de subdivisión finita, de un lote de material en bruto (por ejemplo, un camión cargado o un área específica cubierta).

1.X3.3 Unidad de ensayo, tamaño y Variabilidad.

1.X3.3.1 La unidad está representada por una muestra de campo individual, no deberá ser tan grande para ocultar los efectos de variabilidad significativa dentro de la unidad, ni tampoco que sea tan pequeña como para afectar variabilidad inherente entre porciones pequeñas de cualquier material.

1.X3.3.2 Una unidad de material bulk compuesto de agregado graduado o agregado mezclado podría consistir de un camión completamente cargado. Si, la carga completa pudiera ser ensayada; como una materia práctica, una muestra de campo está compuesta de tres o más porciones seleccionados al azar del material que es cargado o descargado del camión. La investigación ha demostrado que tal procedimiento permite una estimación aceptable para mantener la graduación común que puede ser medida de 15 ó 20 porciones del camión.

Ensayo No. 2.

REDUCCION DE MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE ENSAYO

Basado en norma AASHTO: T 248-02
Con equivalencia en ASTM: C 702-98 (2003)

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento que se utiliza para reducir una muestra de campo a un tamaño adecuado para el ensayo.
- Identificar el material y equipo necesario para este ensayo.
- Reconocer la importancia de realizar un buen procedimiento para la reducción de muestra.

2. ALCANCE

2.1 Este método cubre la reducción de muestras grandes de agregado a un tamaño apropiado para el ensayo, empleando técnicas que están encaminadas a minimizar las variaciones de las características medibles entre la muestra seleccionada para ensayo y la muestra total.

2.2. Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

2.3. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar, establecer prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

1.1 Normas AASHTO:

T 2, Muestreo de Agregados.

T 84, Gravedad Específica y Absorción de Agregados Fino.

1.2 Normas ASTM:

C 125, Termología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto.

4. DEFINICIONES

4.1 *Definiciones.*— Los términos utilizados en esta norma están definidos de acuerdo con ASTM C 125 "Termología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto".

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1 Las especificaciones para agregados requieren muestrear porciones del material para ensayar. Otros factores tales como muestras grandes, tienden a ser más representativas de la muestra total suministrada. Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en campo o producida en el laboratorio a un tamaño conveniente para realizar un número de ensayos que describan el material y medir su calidad de tal manera que la porción más pequeña de la muestra sea representativa de la muestra total suministrada. Los métodos de ensayo individuales proveen las masas mínimas de material a ser ensayadas.

5.2 Bajo ciertas condiciones, la reducción en tamaño de la muestra total antes del ensayo no es recomendada. Las diferencias sustanciales entre las muestras de ensayos seleccionadas algunas veces no pueden ser evitadas, como por ejemplo, en el caso de un agregado que tenga relativamente pocas partículas alargadas en la muestra. Las leyes de probabilidad dictan que esas pocas partículas pueden ser distribuidas desigualmente en la muestra reducida a tamaño de ensayo. Similarmente, si la muestra de ensayo es examinada para ciertos contaminantes, que se detectan como unos pocos y discretos fragmentos en solamente pequeños porcentajes, se debe de tener cuidado en la interpretación de los resultados de la muestra ensayada reducida en tamaño. Hay posibilidad de inclusión o exclusión de una sola o dos partículas en la muestra seleccionada para el ensayo y puede influenciar importantemente en la interpretación de las características de la muestra original. En estos casos la muestra original completa debe ser ensayada.

5.3. Para evitar errores siga cuidadosamente los procedimientos en este método, de lo contrario podría resultar una muestra poco representativa para ser usada en el subsiguiente ensayo.

6. SELECCIÓN DEL MÉTODO

6.1. *Agregado Fino*- Reduzca el tamaño de las muestras de agregado fino que están en una condición de saturados superficialmente secos (ver **Fotografía E 2.1.b)**), (**NOTA 1**) por un partidor mecánico de acuerdo al Método A.

Reduzca el tamaño de las muestras que tengan humedad libre en la superficie de las partículas por cuarteo de acuerdo al Método B, o tratado como un apilamiento miniatura, como se describe en el Método C.

En la **Fotografía E 2.1.a)**, se muestra el mezclado de la muestra, la arena debe de estar saturada superficialmente seca para evitar la perdida de los finos, en la **Fotografía E 2.1.b)** se muestra el método de cuarteo para agregado fino.

NOTA 1- El método para determinar la condición de saturado superficialmente seco está descrito en el método de AASHTO T 84. Como una aproximación rápida, si el agregado fino retiene su forma cuando es moldeado en la mano, entonces puede considerarse que está más húmedo que la condición de saturado superficialmente seco.

6.1.1. Si se desea usar el Método B o Método C, y la muestra no tiene humedad superficial en la partícula, la muestra puede ser humedecida para lograr esta condición, mezcle completamente, y entonces efectúe la reducción de la muestra.

6.1.2. Si se desea usar el Método A y la muestra tiene humedad libre en la superficie de las partículas, la muestra entera puede ser secada para lograr la condición saturada superficialmente seca, usando temperaturas que no excedan las especificaciones para cualquiera de los ensayos contemplados, y entonces se realiza la reducción de la muestra.

Alternativamente, si la muestra húmeda es muy grande, entonces puede hacerse preliminarmente una división usando un cuarteador mecánico que tenga aberturas en los conductos, de 38 mm (1 1/2 pulg) o más grande, para reducir la muestra a no menos de

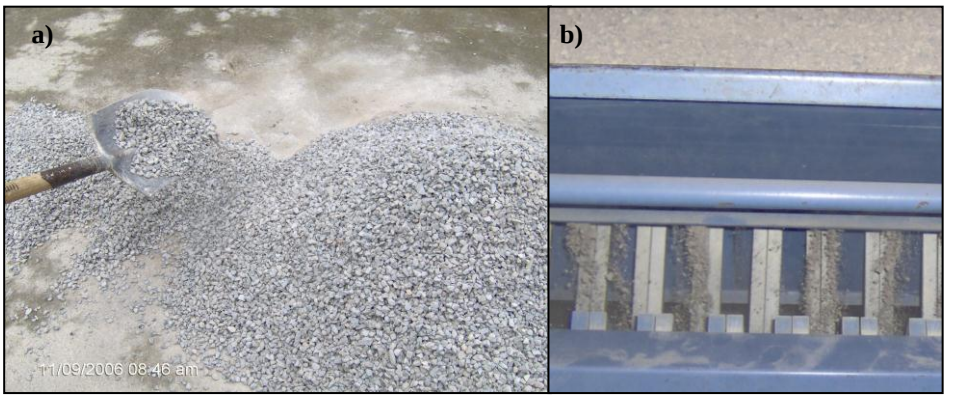
5000 g. La porción obtenida es entonces secada y reducida al tamaño de la muestra de ensayo utilizando el Método A.

Fotografía E 2.1.

a) Combinación de material.
b) Cuarteo de arena.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

6.2. *Agregado grueso y mezclas de agregado grueso y fino*.– Reduzca la muestra usando un cuarteador mecánico de acuerdo con el Método A (método preferido) o por cuarteo de acuerdo con el Método B. El apilamiento miniatura, del Método C no es permitido para agregado grueso o mezclas de agregados grueso y fino.



Fotografía E 2.2.

a) Combinación de agregado grueso (1/2" – 1/4")
b) Cuarteo de agregado grueso.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

7. MUESTREO

7.1. La muestra de agregado obtenida en el campo será tomada de acuerdo con la práctica AASHTO T 2 "Muestreo de Agregado", o según lo requerido por los métodos de ensayo individuales. Cuando los ensayos son proyectados para análisis por tamizado, el tamaño de la muestra de campo listada en la práctica AASHTO T 2, es usualmente adecuado. Cuando se realizan ensayos adicionales, el usuario deberá determinar que el tamaño inicial de la muestra de campo sea adecuado para cubrir todos los ensayos programados. Similar procedimiento deberá ser usado para agregados producidos en laboratorio.

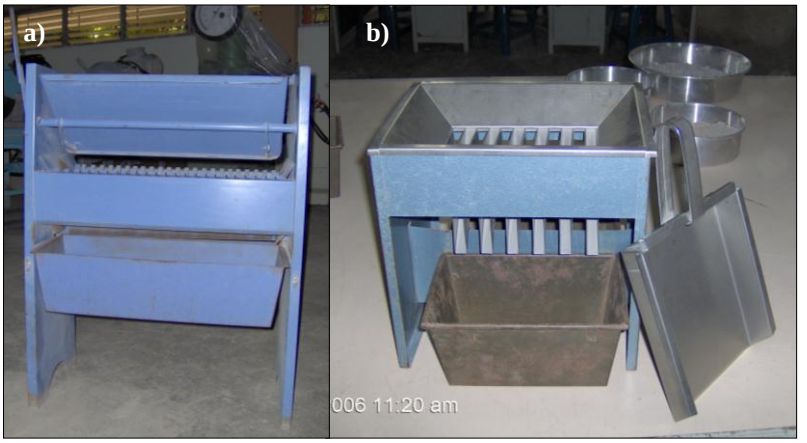
MÉTODO A – CUARTEADOR MECÁNICO

8. EQUIPO

8.1 *Cuarteador de muestra*.- El cuarteador de muestras (ver **Fotografía E 2.3.**) debe tener un número igual de conductos, pero no menos de un total de ocho para agregado grueso, o doce para agregado fino, el cual descarga alternadamente para cada lado del cuarteador. Para agregado grueso y mezclas de agregados, el ancho mínimo del conducto individual será de aproximadamente 50% mayor que el tamaño máximo de las partículas de la muestra a ser cuarteada (**NOTA 2**). Para. Agregado fino seco, en el cual la muestra entera pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulg) el ancho mínimo de los conductos individuales será de 50 % mayor que las partículas más grandes en la muestra y el ancho máximo será de 19 mm (3/4 pulg). El equipo cuarteador estará acondicionado con dos receptáculos para recibir las dos mitades de la muestra, para continuar con el cuarteo. Además, estará equipado con una caja o cucharón con fondo plano y borde recto que tenga un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total de los conductos para que la muestra pueda ser alimentado a una razón controlada.

El cuarteador y los accesorios serán diseñados para que la muestra fluya libremente sin restricción o pérdida de material (ver **Fotografía E 2.2.b)**).

NOTA 2 - El cuarteador mecánico (**Fotografía E 2.4**) está convenientemente disponibles en los tamaños adecuados para agregado grueso que tienen un tamaño máximo de las partículas no mayor que 37.5 mm (1 ½ pulg).



Fotografía E 2.3.

a) Cuarteador de agregado grueso.
b) Cuarteador de agregado fino.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía E 2.4.

Cuarteador para agregado grueso.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

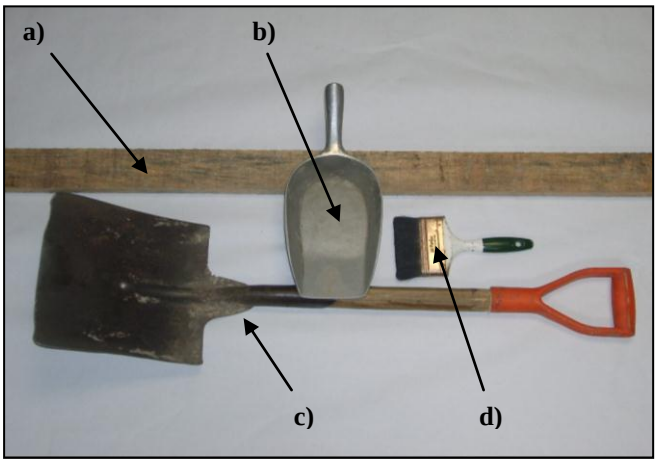
9. PROCEDIMIENTO

9.1. Coloque la muestra original en la tolva o cucharón alimentador distribuyéndola uniformemente de lado a lado, de tal forma que fluyan en los conductos, cantidades aproximadamente iguales. La tasa a la cual la muestra se introduce debe ser tal, que permita un flujo libre y continuo a través de los conductos hacia los receptáculos inferiores. Vuelva a introducir la porción de la muestra de uno de los receptáculos en el cuarteador cuantas veces sea necesario para reducir la muestra al tamaño de ensayo especificado. La porción del material retenido en el otro receptáculo puede ser reservada para la reducción en tamaño para otros ensayos.

MÉTODO B – CUARTEO MANUAL

10. EQUIPO

10.1. El equipo consistirá de una regla, un cucharón de fondo plano y borde recto, pala o cuchara de albañil, una escoba o brocha y una lona de aproximadamente 2 x 2.5 m (6 x 8 pies).



Fotografía E 2.5.

Equipo:
a) Regla b) Cucharón c) Pala d) Brocha

Fotografía tomada en FC S. A. DE C. V. Laboratorio de Suelos y Materiales.

11. PROCEDIMIENTO

11.1. Puede usar cualquiera de los procedimientos descritos en la Sección 11.1.1 o 11.1.2, o una combinación de ambos.

11.1.1 Coloque la muestra original en una superficie dura, limpia y nivelada donde no se produzcan pérdidas de material ni adición accidental de material extraño. Mezcle el material completamente, traspaleando la muestra entera al menos tres veces. En el último traspaleo forme con la muestra un apilamiento cónico, depositando cada palada en la parte superior del apilamiento (ver **Fotografía E 2.6.**).

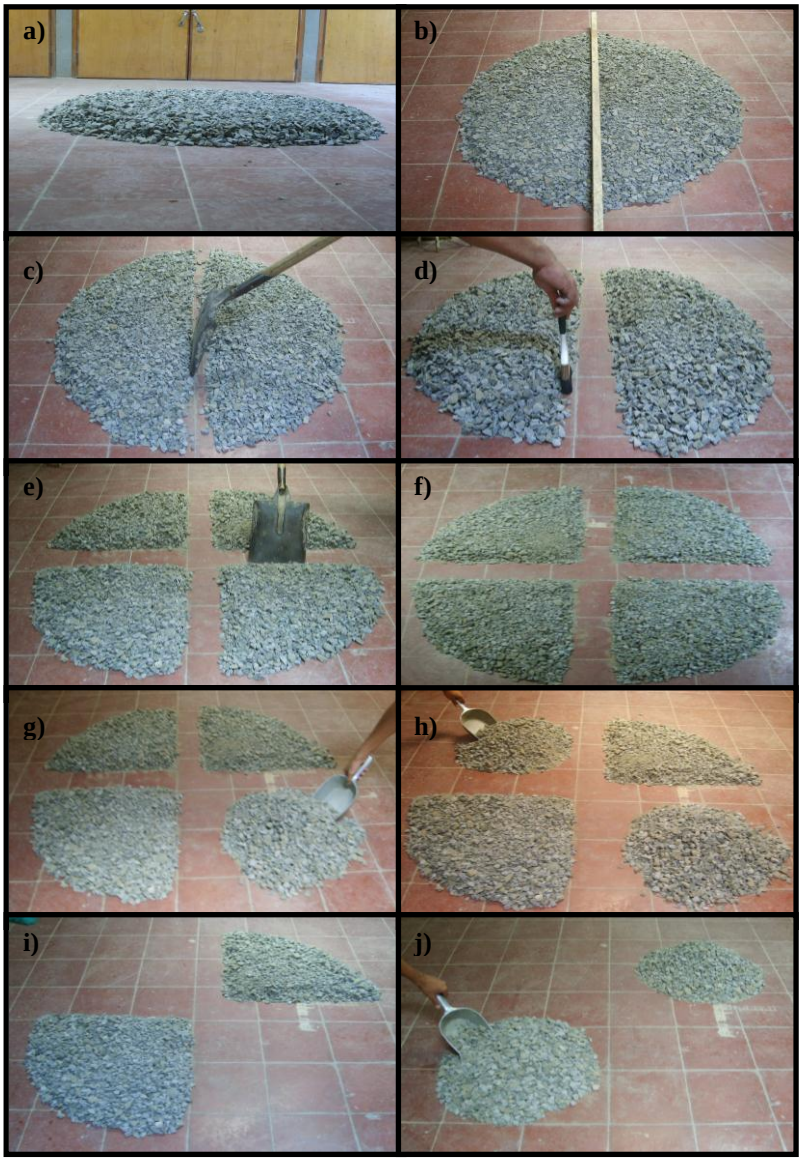
Fotografía E 2.6. **Traspalee y forme un apilamiento cónico.**

Fotografía tomada en FC S. A. DE C. V. Laboratorio de Suelos y Materiales.

Aplane cuidadosamente el apilamiento presionado con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme, de tal forma, que se divida en cuatro partes, de manera que cada cuarto del apilamiento contenga el material que originalmente se encontraba en el.

El diámetro deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor. Ya sea con una pala o cuchara, divida en cuatro partes iguales la masa aplanada y remueva los cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino que se encuentre entre los espacios divididos, limpiando con un cepillo. Mezcle sucesivamente formando el cono y divida en cuartos el material restante hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado (Igual que lo anteriormente), (Ver **Fotografía E 2.7**).

11.1.2. Como una alternativa para el procedimiento en la sección 11.1.1 cuando la superficie del piso está irregular, la muestra de campo puede ser colocada en una manta de lona y puede mezclarse con una pala como fue descrito en la sección 11.1.1 o levantando alternamente cada esquina de la lona y llevándola sobre la muestra hacia la esquina diagonalmente opuesta provocando que el material se revuelva. Aplane el apilamiento como fue descrito en la sección 11.1.1. Divida la muestra como fue descrito en la sección 11.1.1 o, si la superficie bajo la manta está irregular, introduzca una regla o un tubo bajo la lona pasando por el centro del apilamiento y entonces levante ambos extremos del tubo, dividiendo la muestra en dos partes iguales. Retire el tubo dejando un pliegue en la lona entre las porciones divididas. Inserte de nuevo el tubo perpendicularmente bajo el centro del apilamiento a la primera división y otra vez levante a ambos lados del tubo, divida la muestra en cuatro partes iguales. Remueva dos cuartos diagonalmente opuestos, siendo cuidadoso en limpiar las partes finas de la lona. Sucesivamente mezcle y divida en cuartos el material remanente hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado.



Fotografía E 2.7.

Cuarteo Manual:
a) Aplane, el diámetro debe ser de 4 a 8 veces el espesor.
b) Con una regla divida la primera mitad.
c) Con la pala separe el agregado.
d) Con la brocha divida los finos hacia los extremos.
e) Con la pala divida la otra mitad formando los cuartos.
f) Cuartas partes de agregado iguales.
g) Recolectando el cuarto derecho inferior.
h) Recolectando el cuarto izquierdo superior.
i) Retire completamente los cuartos extremos.
j) Recolecte las muestras y cuarte para mayor reducción.

Fotografía tomada en FC S. A. DE C. V. Laboratorio de Suelos y Materiales.

MÉTODO C – MUESTREO DE UN APILAMIENTO MINIATURA

(Sólo para agregado fino húmedo)

12. EQUIPO

12.1. El equipo consistirá de una cuchara de fondo plano y borde recto, una pala, una espátula para mezclar el agregado y cualquier muestreador pequeño ó una cuchara para muestreo.

13. PROCEDIMIENTO

13.1. Coloque la muestra original de agregado fino húmedo en una superficie dura y limpia, nivelada donde no exista pérdida de material ni la adición accidental de material extraño. Mezcle el material completamente volteando la muestra entera al menos tres veces. Con la última revoltura, palee la muestra entera en un apilamiento cónico depositando cada palada en la parte superior del cono. Si desea, aplane la pila cónica para un espesor y diámetro uniforme presionando el cono con una pala a fin de que cada sector cuarteado del apilamiento resultante contenga el material original. Obtenga una muestra para cada ensayo haciendo una selección al menos cinco porciones de material en localizaciones aleatorias del apilamiento en miniatura, usando cualquiera de los dispositivos de muestreo descritos en la sección12.l.

Ensayo No. 3.

ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESO Y FINO

Basado en norma AASHTO: T 27- 99
Con equivalencia en ASTM: C 136-01

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento del ensayo granulométrico de agregados grueso y fino.
- Graficar los resultados del ensayo granulométrico de agregados obtenidos en el laboratorio en papel semi-logarítmico.
- Calcular el módulo de finura de un agregado fino.

2. ALCANCE

2.1. Este método cubre la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de agregados fino y grueso mediante tamizado.

2.2. Algunas especificaciones para agregados, las cuales hacen referencias a este método, contienen requisitos de graduación que incluyen ambas fracciones gruesas y finas. Las instrucciones son incluidas para el análisis por tamizado de tales agregados.

2.3. Los valores expresados en unidades SI serán considerados como el estándar. Los valores en paréntesis son proporcionados solamente para propósitos de información. AASHTO M 92 designa el tamaño de marcos de tamices con unidades de pulgada como estándar, pero en este método de ensayo el tamaño del marco es designado en unidades SI, exactamente equivalentes a las unidades en pulgadas.

2.4 Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar, consultar y establecer prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

M 92, Tamices de Tela metálica para Propósitos de Ensayo

M 231, Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos

R 1, Uso del Sistema Internacional de Unidades

T 2, Muestreo de Agregados

T 11, Materiales más finos que el tamiz 75-µm (No. 200) en agregado mineral por lavado

T 248, Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

3.2 Normas ASTM:

C 125, Terminología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto

C 670, Preparación de las Declaraciones de Precisión y Tendencia para Materiales de construcción.

4. TERMINOLOGÍA

4.1 *Definiciones*— Para definiciones de términos usados en esta norma, refiérase a ASTM C 125.

5. RESUMEN DEL MÉTODO

5.1 Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, para la determinación de la distribución de tamaño de las partículas.

6. SIGNIFICADO Y USO

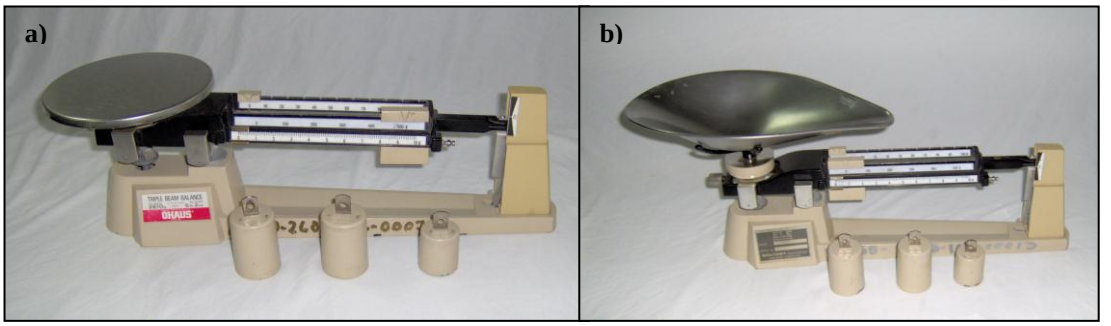
6.1 Este método es usado primordialmente para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados, o están siendo usados como agregados. Los resultados se usan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas, según los requisitos especificados y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de agregados y mezclas que contienen

agregados. La información también puede ser usada en el desarrollo de relaciones concernientes a la porosidad y empaque.

6.2 Una determinación exacta del material más fino que el tamiz de 75-µm (No. 200) no puede ser realizada utilizando solamente este método. El Método de ensayo AASHTO T 11 para material más fino que el tamiz 75-µm por lavado debe ser empleado.

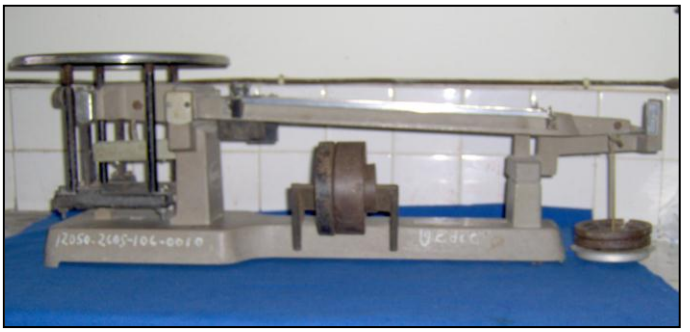
7. EQUIPO

7.1 *Balanza.*— La balanza tendrá suficiente capacidad, con una precisión de 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mejor, conforme a los requisitos de AASHTO M 231 (ver **Fotografía E 3.1** y **Fotografía E 3.2.**).



Fotografía E 3.1. **Balanzas para muestras de 3 Kg con precisión de 0.1 g:**
a) Para conocer la masa con tara la muestra
b) Para conocer la masa sin tara la muestra

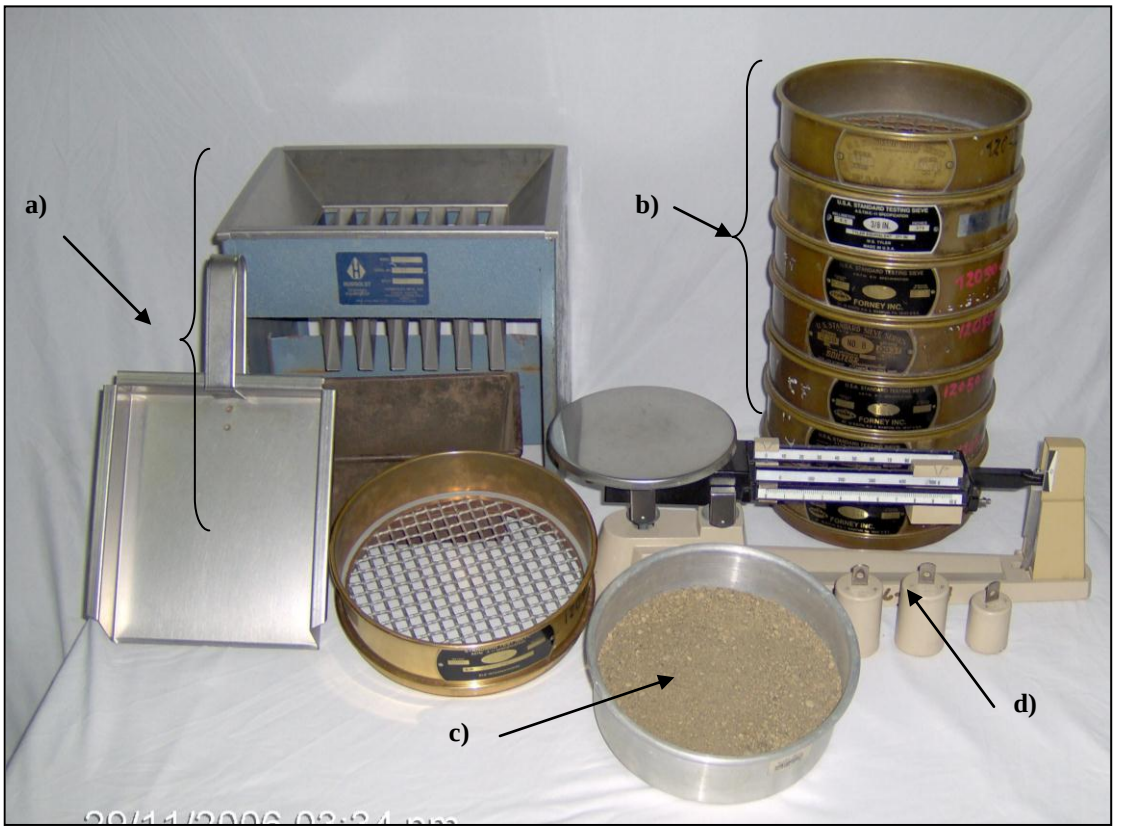
Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Fotografía E 3.2. **Balanza para muestras de agregado grueso de 20 Kg, con precisión de 1g.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

7.2 *Tamices.*— El tejido de los tamices deberán estar montado en marcos sólidos, construidos de una manera que prevengan la pérdida de material durante el tamizado. El tejido y los marcos del tamiz estándar serán de acuerdo a los requisitos de AASHTO M 92. En tamices que no son estándar los marcos serán de acuerdo a los requisitos de M 92, cuando sea aplicable. (Ver **Fotografía E 3.3.**)



Fotografía E 3.3.

Equipo para ensayo de tamizado:
a) Cuarteador de agregado fino b) Juego de tamices
c) Muestra a ensayar d) Balanza de 0.1 g de precisión

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 1 - Es recomendable que los tamices montados en marcos más grandes que los estándar de 203.2 mm (8 pulg) de diámetro, sean usados en el ensayo de agregado grueso para reducir la posibilidad de sobrecargar las mallas. Ver Sección 9.3.

7.3 *Agitador Mecánico de Tamices.* — Si se usa un dispositivo de tamizado mecánico (**Fotografía E 3.4**), deberá crear movimiento en los tamices que cause que las partículas salten, se volteen, o se giren para presentar diferentes orientaciones en la superficie del tamiz. La acción del tamizado será tal que el criterio para un tamizado adecuado, será como se describe en Sección 9.4, teniendo un periodo de tiempo satisfactorio.

Fotografía E 3.4 **Tamizador mecánico**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 2 - El uso de un agitador mecánico de tamices es recomendable cuando el tamaño de la muestra es de 20 kg o mayor, y puede usarse para muestras más pequeñas, incluyendo agregado fino. Un tiempo excesivo (más de aproximadamente 10 minutos) para lograr un tamizado adecuado puede resultar en degradación de la muestra. El mismo agitador mecánico de tamices puede no ser práctico para todos los tamaños de muestra, necesitando un área de tamizado mayor, para un tamizado práctico de un tamaño nominal grande al agregar agregado grueso lo que probablemente resultaría en pérdida de una porción de la muestra si es usada para una muestra más pequeña de agregado grueso o agregado fino.

7.4 *Horno.*— Un horno de tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F), **Fotografía E 3.5**.

Fotografía E 2.5. **Horno para el secado de agregados grueso y fino.**

Fotografía tomada en FC S. A. DE C. V. Laboratorio de Suelos y Materiales.

8. MUESTREO

8.1. Muestree el agregado de acuerdo con la practica AASHTO T 2. La masa de la muestra de campo será la masa mostradas en AASHTO T 2 o cuatro veces la cantidad de las masas requeridas en Sección 8.4 y 8.5 (excepto como se modifica en la Sección 8.6), la que sea mayor.

8.2 Mezcle la muestra completamente y redúzcala a una cantidad adecuada para su ensayo usando los procedimientos aplicables que se describen en la norma AASHTO T 248. La muestra para el ensayo deberá ser aproximadamente la cantidad deseada cuando seque y será el resultado final de la reducción. La reducción a una cantidad predeterminada exacta no será permitida.

NOTA 3 - Cuando el análisis por tamices, incluya la determinación de material más fino que el tamiz 75-µm (No. 200), para propósito de ensayo, el tamaño de la muestra podrá reducirse en el campo para evitar enviar cantidades excesivas de material adicional al laboratorio.

8.3. *Agregado Fino.*— El tamaño de la muestra para ensayo de agregado, después de secado será de 300 g como mínimo.

8.4. *Agregado Grueso.*— La masa de la muestra de agregado grueso será conforme a la **Tabla E 3.1**.

Tabla E 3.1. **Masa de Muestras.**

Tamaño Máximo Nominal, Aberturas cuadradas		**Masa Mínima de la muestra de ensayo**	
mm	**(pulg)**	**Kg**	**(lb)**
9.5	(3/8)	1	(2)
12.5	(1/2)	2	(4)
19.0	(3/4)	5	(11)
25.0	(1)	10	(22)
37.5	(1 ½)	15	(33)
50	(2)	20	(44)
63	(2 ½)	35	(77)
75	(3)	60	(130)
90	(3 ½)	100	(220)
100	(4)	150	(330)
125	(5)	300	(660)

8.5 *Mezcla de agregado grueso y fino.*— La masa de la muestra de ensayo de mezclas de agregado grueso y fino será la misma que para agregado grueso de acuerdo a la Sección 8.4.

8.6. *Muestras de agregado grueso de tamaño grande.*— El tamaño de la muestra requerida para agregado con Tamaño Máximo Nominal de 50 mm ó mayor, es para evitar una reducción conveniente de la muestra y ensayarla como una unidad, sin incluir agitadores mecánicos grandes y agitadores de tamices. Como una opción cuando tal equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar las porciones de muestras, reduzca la muestra de campo a tamaño de ensayo, realizando el análisis por tamizado a porciones aproximadamente iguales de la muestra total ensayada de acuerdo a los requisitos de la Sección 8.4.

8.7. En caso que se requiera la cantidad mas fina que el tamiz No. 200, este se determinara de acuerdo con la AASHTO T 11, usando los procedimientos descritos en las Secciones 8.7.1 ó 8.7.2, o la que sea aplicable.

8.7.1. Para agregados con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm (1/2 pulg) ó menos, use la misma muestra para ensayar de acuerdo a AASHTO T 11 o según este método. Primero ensaye la muestra de acuerdo con AASHTO T 11 al final de la operación de secado, tamice la muestra seca como se estipula en la Sección 9.2 a 9.7.

8.7.2. Para agregados con un tamaño máximo nominal mayor que 12.5 mm (1/2 pulg), una sola muestra de ensayo podrá ser usada como se describe en la Sección 8.7.1 o muestras de ensayos separadas podrán ser usadas para AASHTO T 11.

8.7.3. Donde la especificación requiera la determinación de la cantidad total de material más fino que la el tamiz de 75-µm (No. 200) por lavado y tamizado seco, use el procedimiento descrito en la Sección 8.7.1.

9. PROCEDIMIENTO

9.1 Si la muestra de ensayo no ha sido sujeta al ensayo AASHTO T 11, seque la muestra a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) y determine la masa con una aproximación a 0.1 por ciento del total de la masa de la muestra seca original.

NOTA 4 - Para propósitos de control, particularmente donde resultados rápidos son deseados, generalmente no es necesario secar los agregados gruesos para el ensayo de análisis por tamices. Los resultados son afectados ligeramente debido al efecto del contenido de la humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal es menor que 12.5 mm. (1/2 pulg); (2) el agregado grueso contenga apreciable material más fino que 4.75 mm (No. 4), o (3) el agregado grueso es altamente absorbente (por ejemplo, un agregado de peso ligero). También, las muestras pueden ser secadas a temperatura más altas asociado con el uso de platos calientes sin afectar los resultados, produciendo escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas, y las temperaturas no son tan grandes en lo que se refiere a causar fracturas químicas en el agregado.

9.2 Seleccione los tamices con aberturas adecuadas para proveer la información requerida por las especificaciones que cubre el material a ser ensayado. Use tamices adicionales según sea necesario para proporcionar otra información, tal como el módulo

de finura, o para regular la cantidad de material en un tamiz. Se colocan los tamices en orden decreciente de tamaño de abertura de arriba hacia abajo y coloque la muestra en el tamiz superior hasta que llegue al fondo, ó la porción de la muestra si debe ser tamizada en más de una porción. Agite los tamices a mano o con el equipo mecánico por un periodo suficiente, establecidos por ensayos o controlado por medición en la muestra actual de ensayo, para encontrar los criterios de tamizado suficientes descritos en la Sección 9.4.

9.3 Límite la cantidad de material en un tamiz dado tal que todas las partículas tengan oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz en varias ocasiones durante la operación del tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4.75-mm (No. 4), la cantidad retenida en cualquier tamiz al completar la operación de tamizado no deberá exceder a 7 kg/m^2 (4 g/pulg^2) de área superficial del tamiz (**NOTA 5**). Para tamices con aberturas de 4.75 mm (No. 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no excederá el producto de 2.5 x (abertura de tamiz, mm x (área efectiva del tamiz, m^2)). Esta cantidad es mostrada en la **Tabla E 3.2** para cinco dimensiones del marco del tamiz de uso corriente. En ningún caso la cantidad retenida será tan grande como para causar deformación permanente en el tejido del tamiz.

9.3.1. Prevenga una sobrecarga de material en un tamiz individual por uno de los siguientes métodos:

9.3.1.1. Inserte un tamiz adicional con abertura de tamaño intermedia entre el tamiz que puede ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente por encima de ese tamiz, en el conjunto original de tamices.

9.3.1.2. Parta la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combine las masas de las porciones retenidas en un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de la muestra en el tamiz.

9.3.1.3. Use tamices que tengan un marco de tamaño grande y que provea un área de tamizado mayor.

NOTA 5- 7 Kg/m² cuantifica 200 g para el diámetro de tamiz usual de 203.2 mm (8 pulg) con un diámetro efectivo en la superficie de tamizado de 109.5 mm (7.5 pulg).

9.3.1.4. En caso de mezclas de agregado grueso y fino, la porción de la muestra más fina que el tamiz 4.75 mm (No 4) puede ser distribuido en dos o más juegos de tamices para prevenir sobrecargar los tamices individuales.

Tabla E 3.2 **Cantidad Máxima Admisible de Material retenido en un**

Tamaño de abertura de tamiz		Dimensiones nominales de los tamices (a)				
		203.2 mm	254 mm	304.8 mm	350 x 350	372 x 580
pulg	mm	dia (b)	dia (b)	dia (b)	mm	mm
Área de tamizado, m²						
		0.0285	0.0457	0.067	0.1225	0.2158
5	125	c	c	c	c	67.4
4	100	c	c	c	30.6	53.9
3 1/2	90	c	c	15.1	27.6	48.5
3	75	c	8.6	12.6	23.0	40.5
2 1/2	63	c	7.2	10.6	19.3	34.0
2	50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
1 1/2	37,5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
1	25	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
3/4	19	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
1/2	12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
3/8	9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
No 4	4.75	0.33	0.54	0.8	1.5	2.6

(a) Las dimensiones del marco del tamiz en pulgadas son: 8 pulg de diámetro, 10 pulg de diámetro, 12 pulg de diámetro, 13.8 X 13.8 pulg (14 pulg X 14 pulg nominal), 14.6 X 22.8 pulg (16 X 24 pulg nominal).

(b) El área para tamices redondos está basada en un diámetro efectivo de 12.7 mm (1/2 pulg) menos que el diámetro nominal del marco, porque M92 permite que el sello entre la malla del tamiz y el marco se extienda ¼ pulg. Así, el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz de 8 pulg es 190.5 mm (7.5 pulg). Algunos fabricantes de tamices no deben infringir el sello de la malla del tamiz en un ¼ pulg.

(c) Los tamices indicados tienen menos de 5 aberturas completas y no pueden usarse para el ensayo de tamizado.

9.3.1.5 Alternativamente, la porción más fina que el tamiz 4.75 mm (No. 4) puede ser reducida de tamaño, usando un cuarteador mecánico según AASHTO T 248. Si este procedimiento es seguido, calcule el tamaño de la masa de cada porción de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \qquad (1)$$

Donde:

A: Masa de la porción total de la muestra base.

W_1: Fracción de la masa más fina que el tamiz de 4.75 mm (No. 4) en el total de la muestra

W_2: Porción de la masa reducida de material más fino que el tamiz 4.75 mm (No. 4) tamizada actualmente, y

B: Tamaño de la porción de masa reducida por tamizado.

9.4. Continúe tamizando por un periodo suficiente de tal manera que, después de completado, no más del 0.5 % de la masa del total de la muestra pase cualquier tamiz durante un minuto continuo de tamizado manual, realizado de la siguiente manera: Mantenga el tamiz individual con una mano, provista con un fondo y tapa, las cuales deben ajustarse de forma cómoda, en una posición ligeramente inclinada. Golpee el lado del tamiz con rapidez y con un movimiento ascendente en contra de la palma de la otra mano a una razón de alrededor de 150 veces por minuto, se gira el tamiz alrededor de un sexto de una revolución en intervalos de 25 golpes. En la determinación eficiente del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4.75-mm (No. 4), se limita el material en el tamiz a una simple capa de partículas. Si la cantidad de los tamices para el ensayo hacen impráctico el movimiento de tamizado descrito, use tamices de diámetro de 203.2-mm (8 pulg) para verificar la eficiencia del tamizado.

9.5. A menos que un agitador mecánico de tamices sea usado, se deben tamizar manualmente las partículas mayores de 75 mm (3 pulg) para determinar la abertura del tamiz más pequeño a través del cuál cada partícula pasará, si es necesario girar las partículas, en orden para determinar si atravesarán una abertura en particular; sin embargo, no fuerce las partículas para que pasen a través de una abertura.

9.6. Determine la masa de cada porción de tamaño en una báscula o balanza conforme a los requisitos especificados en la Sección 8.1 con aproximación del 0.1% del total de la masa de la muestra seca original. La masa total del material después de tamizado debe verificarse minuciosamente con la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren por más de 0.3 % basados en la masa de muestra seca original, los resultados no podrán ser usados para propósitos de aceptación.

9.7. Si la muestra ha sido previamente ensayada por el Método de Ensayo AASHTO T 11, añada la masa del material más fino que el tamiz 75-µm (No. 200) determinada por este método a la masa que pasa el tamiz 75-µm (No. 200) por tamizado seco de la misma muestra en éste método.

10. CALCULOS

10.1. Calcule los porcentajes que pasan, porcentaje total retenido, o porcentajes en varios tamaños de fracciones con una aproximación del 0.1 % del total original de la masa de la muestra seca. Si la misma muestra fue primero ensayada por el método AASHTO T 11, entonces incluya la muestra de material más fino que el tamiz 75-µm (No. 200) por lavado en el cálculo de análisis por tamiz; y use el total de masa de la muestra seca previo al lavado en el método AASHTO T 11 como la base para calcular todos los porcentajes.

10.1.1. Cuándo la muestra es ensayada en porciones, como se estipula en la Sección 8.6, sume las masas de las porciones retenidas en cada tamiz y use estas masas para el cálculo del porcentaje como en la Sección 10.1.

10.2. Calcule el módulo de finura, cuando sea requerido, sumando los porcentaje retenido acumulado en los tamices que van del No. 4 al tamiz No.100 y divida la sumatoria por 100; para el tamizado aumente la relación de 2 a 1 en los tamices, según el ejemplo siguiente: 150 µm (No. 100), 300 µm (No. 50), 600 µm (No. 30), 1.18 mm (No. 16),

2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm.(3/8 pulg), 19.0 mm (3/4 pulg), 37.5 mm (l 1/2 pulg) y mayores.

11. REPORTE

11.1. Dependiendo de la especificación utilizada para el material ensayado, el reporte deberá incluir uno de los siguientes literales:

11.1.1. Porcentaje total de material que pasa cada tamiz, o

11.1.2. Porcentaje total de material retenido en cada tamiz, o

11.1.3. Porcentaje de material retenido entre tamices consecutivos.

11.2. Reporte los porcentajes al número entero más próximo, excepto si el porcentaje que pasa el tamiz de 75-µm (No. 200) es menor que el 10 %, será reportado con una aproximación de 0.1%

11.3. Reporte el Módulo de Finura, cuando se requiera, con aproximación de 0.01.

MF = (Porcentaje Retenido Acumulado del Tamiz No. 4 al No. 100)/100

Tabla E 3.3. **Ejemplo de cómo calcular el análisis granulométrico.**

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	% Parcial Retenido	% Acumulado	% Que pasa
1"	25	W_1	$(W_1/ W_{total}) \times 100 = P_1$	P_1	$100 - P_1$
3/4"	19	W_2	$(W_2/ W_{total}) \times 100 = P_2$	$P_1 + P_2$	$100 - (P_1 + P_2)$
1/2"	12.5	W_3	$(W_3/ W_{total}) \times 100 = P_3$	$P_1 + P_2 + P_3$	$100 - (P_1 + P_2 + P_3)$
3/8"	9.5	W_4	$(W_4/ W_{total}) \times 100 = P_4$	$P_1 + P_2 + \ldots P_4$	$100 - (P_1 + P_2 + \ldots P_4)$
No. 4	4.75	W_5	$(W_5/ W_{total}) \times 100 = P_5$	$P_1 + P_2 + \ldots P_5$	$100 - (P_1 + P_2 + \ldots P_5)$
Pasa No. 4	-	W_6	$(W_6/ W_{total}) \times 100 = P_6$	$P_1 + P_2 + \ldots P_6$	$100 - (P_1 + P_2 + \ldots P_6)$
		Wtotal	100		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

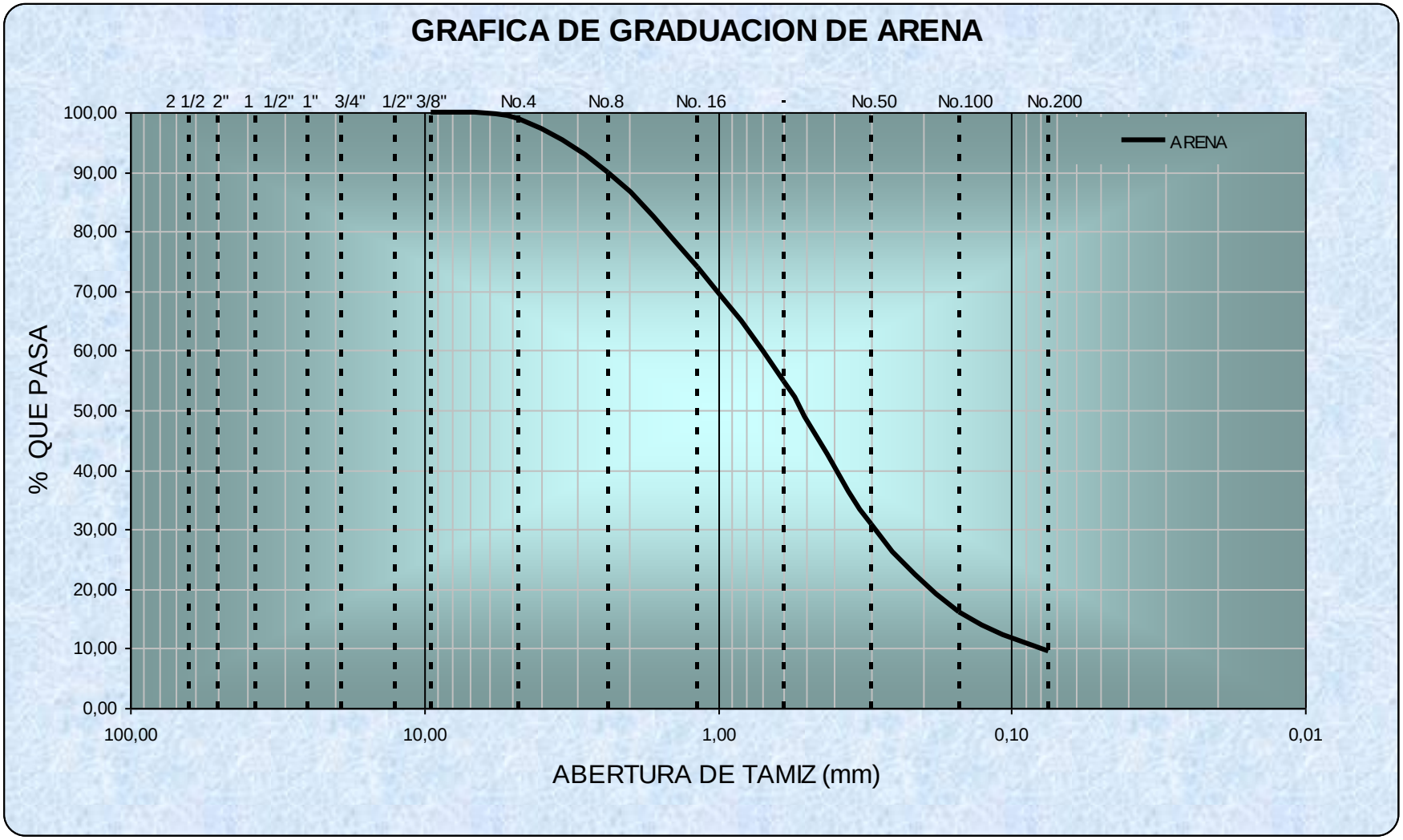
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO AASHTO T - 27, ASTM C 136

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Material:	Arena
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	Hugo G.
Procedencia:	Aguilares	Fecha de recibido:	Agosto/2007
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Fecha de ensayo:	Agosto/2007

Peso inicial sin lavar:	**552.9**	g	Material fino por lavado	**50.4**	g
Peso inicial lavado:	**502.5**	g			

MALLA	PESO		% RETENIDO		% ACUMULADO
	RETENIDO (kg)	RETENIDO AJUSTADO	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA
3/8	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**100**
No.4	**4.0**	**4.0**	**0.7**	**0.7**	**99**
No.8	**53.1**	**53.1**	**9.6**	**10.3**	**90**
No.16	**88.2**	**88.2**	**16.0**	**26.3**	**74**
No.30	**102.9**	**102.9**	**18.6**	**44.9**	**55**
No.50	**133.2**	**133.2**	**24.1**	**69.0**	**31**
No.100	**84.0**	**84.0**	**15.2**	**84.2**	**16**
No.200	**34.5**	**34.5**	**6.2**	**90.4**	**9.6**
Pasa No. 200	**2.6**	**53.0**	**9.6**	**100.0**	
Σ	**502.5**				

Observaciones:


GRAFICA DE GRADUACION DE ARENA
2 1/2
2"
1 1/2"
1"
3/4"
1/2"
3/8"
No.4
No.8
No. 16
No.50
No.100
No.200
ARENA
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
% QUE PASA
100,00
10,00
1,00
0,10
0,01
ABERTURA DE TAMIZ (mm)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

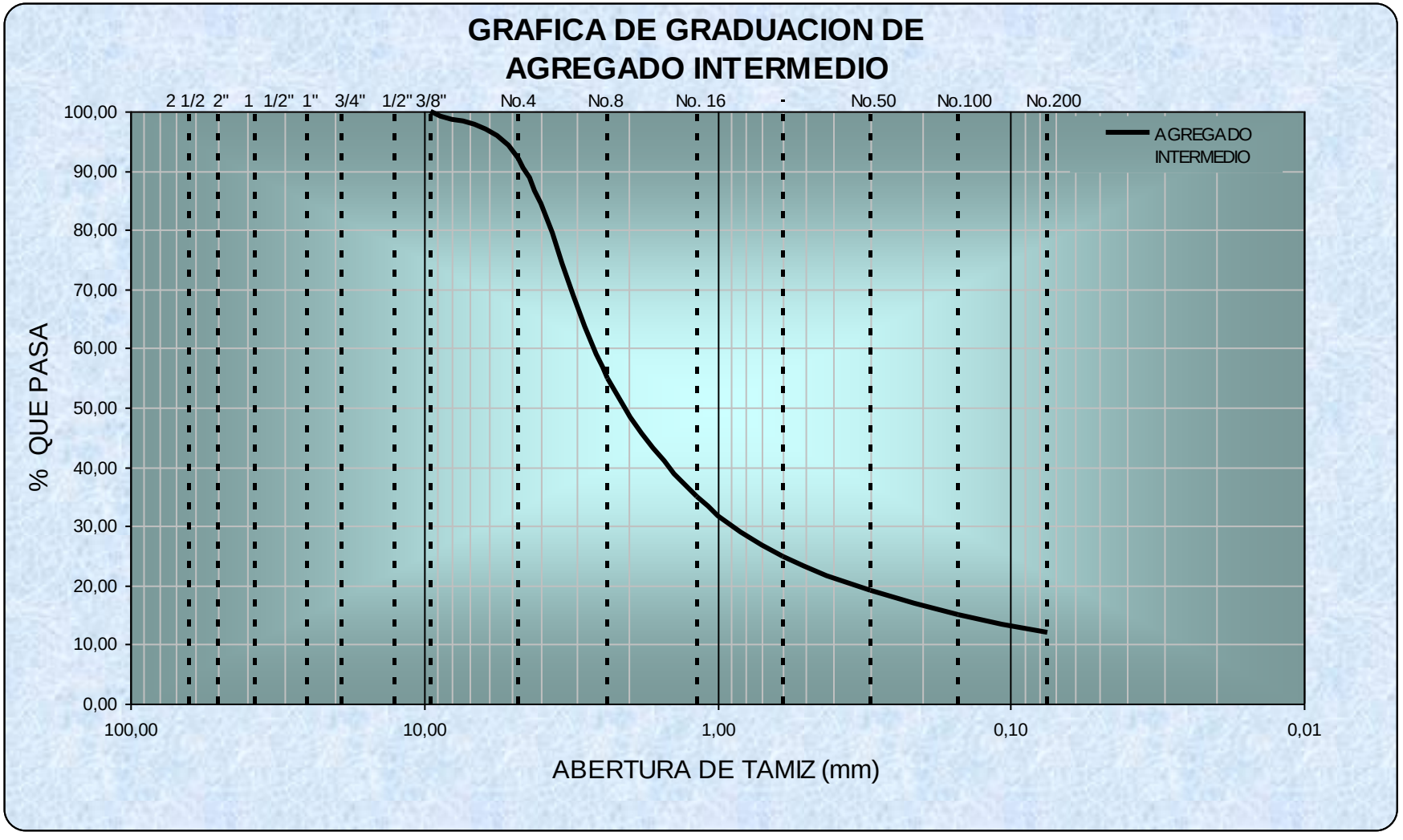
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO INTERMEDIO AASHTO T - 27, ASTM C 136

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Material:	Agregado 1/4"-0
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	Mauricio C.
Procedencia:	Cantera Colima	Fecha de recibido:	Agosto/2007
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Fecha de ensayo:	Agosto/2007

Peso inicial sin lavar:	**1161.4**	g	Material fino por lavado:	**132.1**	g
Peso inicial lavado:	**1029.3**	g			

MALLA	PESO		% RETENIDO		% ACUMULADO
	RETENIDO (kg)	RETENIDO AJUSTADO	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA
3/8	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**100**
No.4	**96.3**	**96.3**	**8.3**	**8.3**	**92**
No.8	**423.6**	**423.6**	**36.5**	**44.8**	**55**
No.16	**240.0**	**240.0**	**20.7**	**65.4**	**35**
No.30	**109.4**	**109.4**	**9.4**	**74.8**	**25**
No.50	**70.6**	**70.6**	**6.1**	**80.9**	**19**
No.100	**43.4**	**43.4**	**3.7**	**84.7**	**15**
No.200	**37.1**	**37.1**	**3.2**	**87.9**	**12.1**
Pasa No. 200	**8.9**	**141.0**	**12.1**	**100.0**	
Σ	**1029.3**				

Observaciones:


GRAFICA DE GRADUACION DE AGREGADO INTERMEDIO
2 1/2
2"
1
1/2"
1"
3/4"
1/2"
3/8"
No.4
No.8
No. 16
No.50
No.100
No.200
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
% QUE PASA
AGREGADO INTERMEDIO
100,00
10,00
1,00
0,10
0,01
ABERTURA DE TAMIZ (mm)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

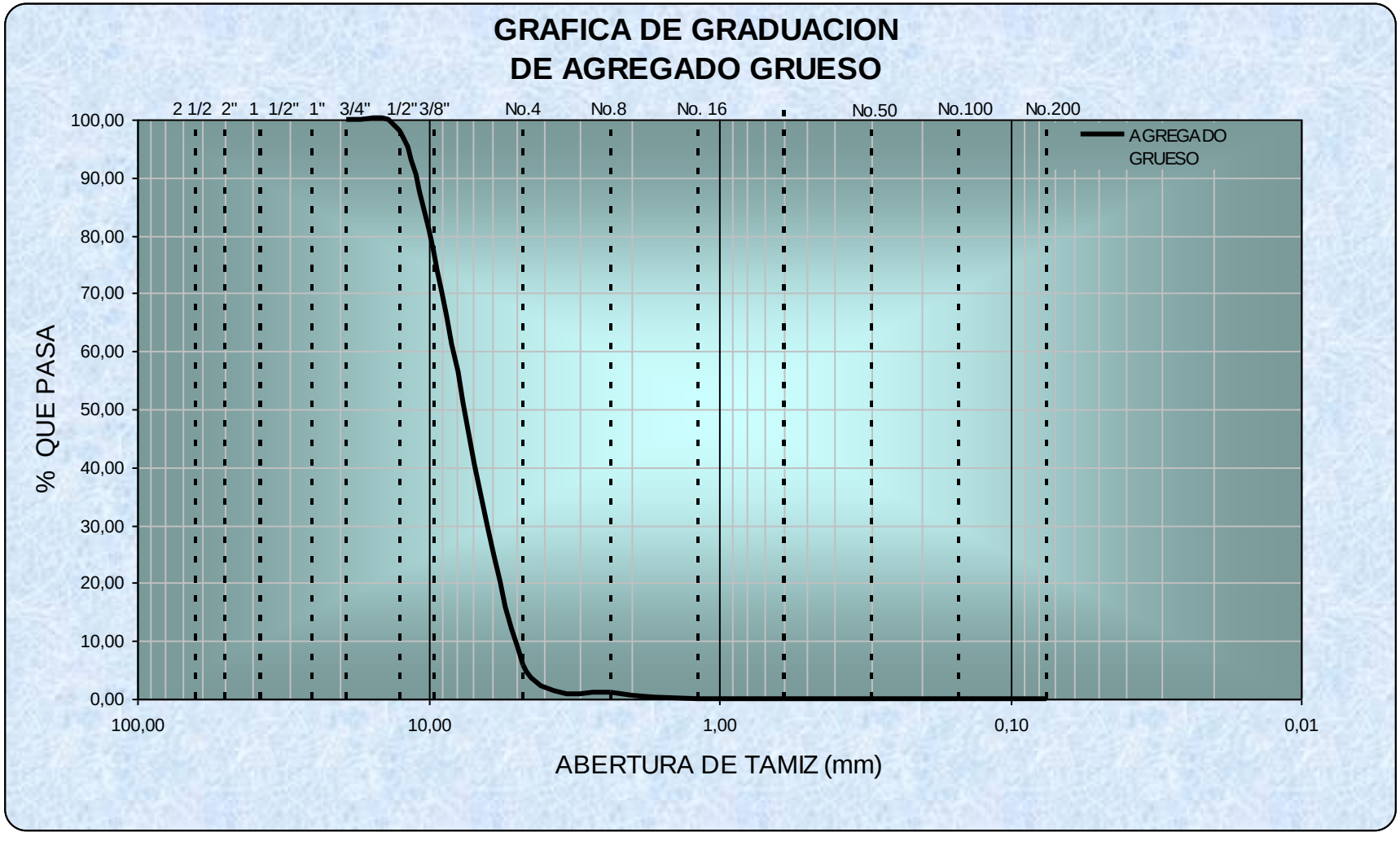
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO AASHTO T - 27, ASTM C 136

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Material:	Agregado 1/2"-1/4"
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Laboratorista:	Amical Reyes
Procedencia:	Cantera Colima	Fecha de recibido:	Agosto/2007
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Fecha de ensayo:	Agosto/2007

Peso inicial: **2486** g

MALLA	PESO		% RETENIDO		% ACUMULADO
	RETENIDO (kg)	RETENIDO AJUSTADO	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA
3/4	**0.0**		**0.0**	**0.0**	**100**
1/2	**23.8**		**1.0**	**1.0**	**99**
3/8	**545.9**		**22.0**	**22.9**	**77**
No.4	**1764.1**		**71.0**	**93.9**	**6**
No.8	**127.7**		**5.1**	**99.0**	**1**
No.16	**12.4**		**0.5**	**99.5**	**0**
No.30	**1.9**		**0.1**	**99.6**	**0**
No.50	**1.2**		**0.0**	**99.6**	**0**
No.100	**1.5**		**0.1**	**99.7**	**0**
No.200	**2.5**		**0.1**	**99.8**	**0**
Pasa No. 200	**5.0**		**0.2**	**100.0**	
Σ	**2486.0**				

Observaciones:


GRAFICA DE GRADUACION
DE AGREGADO GRUESO
2 1/2
2"
1
1/2"
1"
3/4"
1/2"
3/8"
No.4
No.8
No. 16
No.50
No.100
No.200
AGREGADO GRUESO
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
% QUE PASA
100,00
10,00
1,00
0,10
0,01
ABERTURA DE TAMIZ (mm)

Ensayo No. 4.

MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ DE 75 µm (No. 200) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO.

Basado en norma AASHTO: T 11-97(2000)
Con equivalencia en ASTM: C 117-95

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir el proceso para obtener la cantidad de agregado más fino que el tamiz de 75µm (No. 200) por lavado.
- Conocer los cálculos que deben realizarse en este método de ensayo para obtener la cantidad de agregado más fino que el tamiz de 75µm (No. 200) por lavado.

2. ALCANCES

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la cantidad de material más fino que el tamiz de 75µm (No. 200) en agregado por lavado. Partículas de arcilla y otras partículas de agregado que se dispersan por el agua de lavado, así como materiales solubles en agua, pueden ser removidas del agregado durante el ensayo.

2.2 Dos procedimientos son incluidos, uno sólo utilizando agua para la operación de lavado, y el otro incluyendo un agente humectante para ayudar al desprendimiento de material más fino que el tamiz de 75µm (No. 200) del material más grueso. Salvo indicación contraria, el procedimiento A (sólo con agua) será utilizado.

2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

2.4 Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar, establecer prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

M 92, Tamices de Tela Metálica para Propósitos de Ensayo.

M 231, Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos.

T 2, Muestreo de Agregados.

T 27, Análisis por Tamices de Agregados Finos y Gruesos.

T 248, Reducción de Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo.

3.2 Normas ASTM:

C 117, Método De ensayo para Materiales más Finos que el Tamiz de 75µm (No. 200) en Agregado Mineral por Lavado.

C 670, Práctica para Preparación de Informes de Precisión para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

4. RESUMEN DEL MÉTODO

3.1 Una muestra de agregado es lavada en la manera prescrita, usando ya sea agua corriente o agua conteniendo un agente humectante, como se haya especificado. El producto decantado del lavado con agua, que contiene material suspendido y disuelto, es pasado a través de un tamiz de 75µm (No. 200). La pérdida en masa resultante del tratamiento de lavado se calcula como el porcentaje de masa de la muestra original y es reportada como el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75µm por lavado.

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1 El material más fino que el tamiz de 75µm (No. 200), puede ser separado de partículas mayores eficazmente y completamente por el tamizado en húmedo, que por el tamizado en seco. Por consiguiente, cuando se desean determinaciones exactas de material más fino que 75 µm en agregado fino y grueso, se utiliza este método de ensayo en la muestra antes del tamizado en seco de acuerdo con la especificación AASHTO T 27. Los resultados de este método de ensayo son incluidos en el cálculo en la especificación AASTHO T 27, y el cálculo total de material más fino que 75µm por

lavado, más la cantidad obtenida por tamizado seco en la misma muestra, es reportado con los resultados de AASHTO T 27. Usualmente la cantidad adicional de material más fino que 75µm obtenido en el proceso de tamizado seco es una cantidad pequeña. Si es grande, entonces la eficiencia de la operación de lavado debería ser comprobada. Eso, también, podría ser una indicación de degradación del agregado.

5.2 El agua corriente es adecuada para separar el material más pequeño que 75µm del material más grueso en la mayoría de agregados. En algunos casos, el material más fino se adhiere a las partículas más grandes, como algunas capas de arcilla y capas en agregados que han sido extraídos de mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino será separado fácilmente con un agente humectante en el agua.

6. EQUIPO Y MATERIALES

6.1 *Balanzas.*— La balanza tendrá suficiente capacidad, para leer al 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mucho más, y estará conforme a los requisitos de la especificación AASHTO M 231 (ver **Fotografía E 3.1,** del ensayo No. 3, Pág. 70).

6.2 *Tamices.*— Un grupo de dos tamices, el más pequeño será un tamiz de 75-µm (No. 200) (ver **Fotografía E 4.1**) y el más grande será un tamiz con aberturas en el rango de 2.36-mm (No. 8) a 1.18-mm (No. 16), ambos conforme a los requisitos de la especificación AASHTO M 92.

6.3 *Contenedor.*— Una bandeja o vasija de un tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua y que permita la agitación vigorosa sin perder alguna parte de la muestra o agua (ver **Fotografía E 4.2**).

6.4 *Horno.*— Un horno de suficiente tamaño, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) (ver **Fotografía E 4.3**).

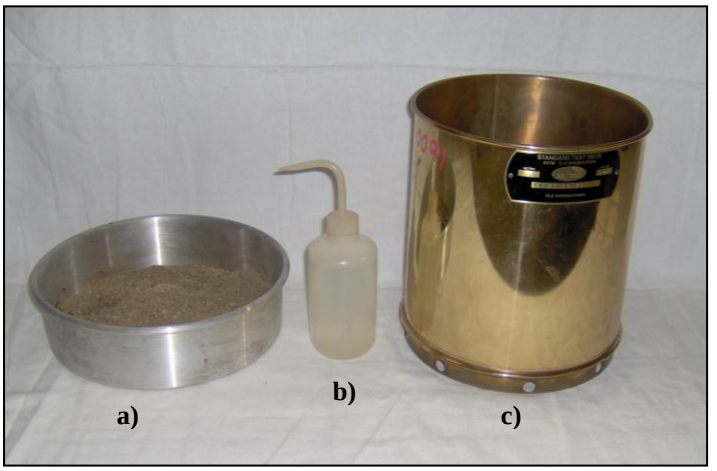
6.5 *Agente humectante.*— Cualquier agente dispersante, como detergentes líquidos para lavar platos, puede ayudar a la separación de los materiales finos.

NOTA 1- El uso de un equipo mecánico para realizar la operación de lavado no es prohibitivo, ya que los resultados obtenidos del uso de este equipo, son consistentes con los resultados obtenidos de utilizar operaciones manuales. El uso de algún equipo mecánico de lavado con algunas muestras puede causar degradación de la muestra.

Fotografía E 4.1.

Tamiz No 200 utilizado para lavado, donde se puede observar la prolongación de la altura de su marco para evitar la perdida de material en el momento de la decantación.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Fotografía E 4.2.

a) Contenedor con muestra
b) Piseta para devolver el material retenido en el tamiz
c) Tamiz para decantación de muestra

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía E 4.3 **Horno para el secado de agregados grueso y fino.**

Fotografía tomada en FC S. A. DE C. V. Laboratorio de Suelos y Materiales.

7. MUESTREO

7.1 Muestrear el agregado de acuerdo con AASHTO T 2 (ver ensayo No. 1). Si la misma muestra de ensayo será ensayada para el análisis por tamizado estará de acuerdo a AASHTO T 27, cumpliendo los requerimientos aplicables en este método.

7.2 Mezclar completamente la muestra de agregado para ser ensayada y reducir la cantidad a una adecuada para ser ensayada usando los métodos descritos en AASHTO T 248 (ver ensayo No. 2, Pág. 59). Si la misma muestra es ensayada según AASHTO T 27, entonces la masa mínima estará descrita en las secciones aplicables de ese método. De otra manera, la masa de la muestra de ensayo, después de secarse, será conforme a la **Tabla E 4.1**:

Tabla E 4.1. **Masa mínima de muestra para ensayo.**

Tamaño nominal máximo	Masa mínima, g
4.75mm (No. 4) o menor	300
9.5mm (3/8 pulg)	1000
19.0mm (3/4 pulg)	2500
37.5mm (1 ½ pulg) o mayor	5000

La muestra de ensayo será el resultado final de la reducción. La reducción a una masa predeterminadamente exacta no será permitida.

8. SELECCIÓN DE PROCEDIMIENTO

8.1 Se utilizará el procedimiento A, salvo indicación contraria dada por la especificación con la cual los resultados del ensayo serán comparados, o cuando lo dicte la agencia para la cual el trabajo es realizado.

9. PROCEDIMIENTO "A" - LAVADO CON AGUA CORRIENTE

9.1 Secar la muestra de ensayo hasta alcanzar una masa constante, a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F). Determinar la masa con una precisión del 0.1 por ciento de la masa de la muestra de ensayo.

9.2 Si la especificación aplicable requiere que la cantidad que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) sea determinado en una porción de la muestra que pasa un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal del agregado, separar la muestra en el tamiz designado y determinar la masa del material que pasa el tamiz designado al 0.1 por ciento de la masa de la porción de la muestra de ensayo. Usar esta como la masa seca original de la muestra de ensayo en la sección 11.1.

NOTA 2- Algunas especificaciones para agregados con un tamaño máximo nominal de 50mm (2 pulg) o mayor, por ejemplo, proveen un límite para materiales que pasan el tamiz de 75µm (No. 200) determinado en la porción de la muestra que pasa el tamiz de 25.0-mm (1 pulg). Tales procedimientos son necesarios ya que no es práctico lavar muestras del tamaño requerido cuando la misma muestra de ensayo servirá para análisis por tamizado según AASHTO T 27.

9.3 Después de secar y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en el contenedor y agregar suficiente agua para cubrirla. Ningún detergente, agente dispersante, u otra sustancia se añadirá al agua. Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz de 75-µm (No. 200) de las partículas más gruesas, y que el material fino quede en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el agregado en el agua de lavado tiene resultados satisfactorios. Inmediatamente vierta el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre el arreglo de tamices (ver **Fotografía E 4.4**), organizados con el tamiz más grueso arriba. Esfuércese por evitar, tanto como sea posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.

9.4 Añada una segunda cantidad de agua a la muestra en el recipiente, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado salga clara (ver **Fotografía E 4.5**).

NOTA 3 - Si el equipo de lavado es usado, la carga de agua, agitación, y la decantación pueden ser una operación continua.

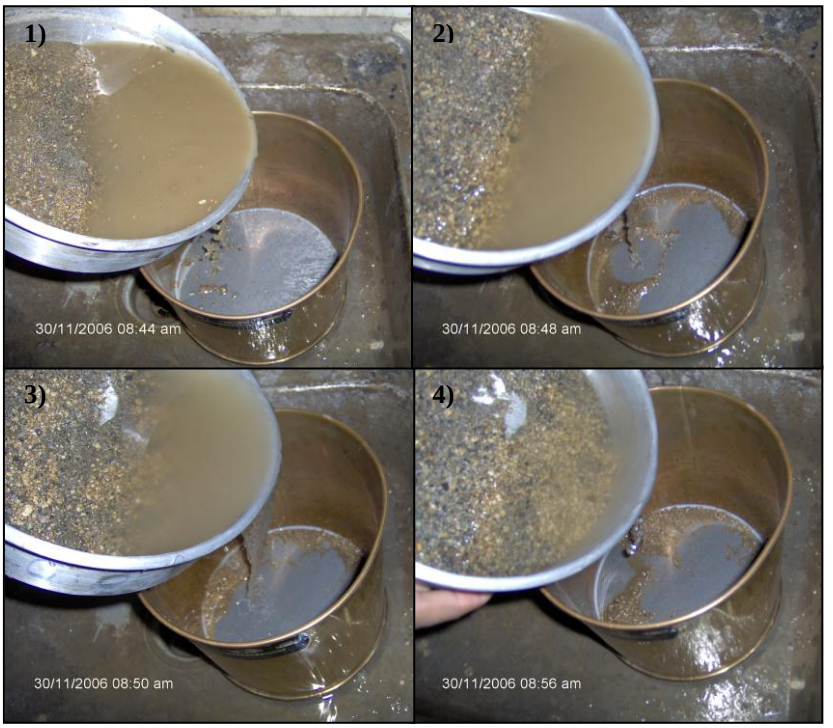
NOTA 4 – Una boquilla de aerosol o una pieza de tubo de caucho unido a un grifo de agua, pueden ser usadas para enjuagar cualquiera de los materiales que haya caído sobre los tamices. La velocidad del agua, que puede ser incrementada por la presión del tubo, debe ser la suficiente para no causar salpicaduras de muestra en los lados del tamiz.

Fotografía E 4.4. **Agua conteniendo material fino suspendido, siendo vertido en el tamiz No. 200.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

9.5 Regresar todo el material retenido en el grupo de tamices, limpiando con un chorro de agua la muestra lavada. Secar el agregado lavado hasta obtener masa constante a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) y determinar la masa con una precisión del 0.1 por ciento de la masa original de la muestra.

NOTA 5 - Después del lavado de la muestra y la limpieza de cualquier material retenido en el tamiz de 75µm (No. 200) llevarlos de vuelta al recipiente, el agua no deberá ser decantada al recipiente sino es a través del tamiz de 75-µm, para evitar pérdida de material. El agua en exceso del enjuague deberá evaporarse de la muestra en el proceso de secado.



Fotografía E 4.5. **Decantación de agregados en tamiz No. 200 hasta que el agua sale limpia.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

10. PROCEDIMIENTO "B" – LAVADO USANDO AGENTE HUMECTANTE.

10.1 Preparar la muestra de la misma manera que en el procedimiento A.

10.2 Después de secarse y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en el recipiente. Añada suficiente agua para cubrir la muestra, y añadir agente humectante al agua (**NOTA 6**). Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de las partículas más finas que el tamiz de 75µm (No. 200) de las partículas más gruesas, para dejar el material fino en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el agregado en el agua de lavado ha sido encontrado satisfactorio. Inmediatamente verter el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre el grupo de tamices, organizados con el tamiz más grueso arriba. Esforzarse por evitar, tanto como sea posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.

NOTA 6 - El agente humectante deberá ser suficiente para producir un poco de espuma cuando la muestra es agitada. La cantidad dependerá de la dureza del agua y la calidad del detergente. Espuma en exceso puede derramarse de los tamices y puede llevarse material con ella.

10.3 Añada una segunda cantidad de agua (sin agente humectante) a la muestra en el contenedor, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.

10.4 Completar el ensayo como en el procedimiento A.

11. CÁLCULOS

11.1 Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) por lavado como sigue:

$$A = \left[\frac{B - C}{B} \right] \times 100 \qquad (1)$$

Donde:

A= Porcentaje de material más fino que el tamiz de 75µm (Nº 200) por lavado;

B= masa seca original de la muestra, g; y

C= masa seca de la muestra después del lavado, g.

12. REPORTE

12.1 Reportar el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75µm (No. 200) por lavado con una precisión del 0.1 por ciento, pero si el resultado es 10 por ciento o más, reporte el porcentaje para el número entero más cercano.

12.2 Incluir un detalle de que procedimiento fue usado.

13. PRECISION Y ERROR

13.1 *Precisión*- Los estimados de precisión de este método de ensayo, listados en la **Tabla E 4.2** se basan en resultados del programa de muestras de prácticas de laboratorio con referencia a los materiales de AASHTO, con pruebas bajo la dirección de este método de ensayo y ASTM C 117. Las diferencias significativas entre los métodos en el

momento que los datos fueron adquiridos están en que AASHTO T 11 requirió el uso de un agente humectante, y ASTM C 117 prohibió el uso de agente humectante. Los datos se basan en los análisis de más de 100 resultados de ensayos emparejados de 40 a 100 laboratorios.

Tabla E 4.2 **Tabla de valores de precisión.**

	Desviación estándar (1S),[a] porcentaje	**Rango aceptable de dos resultados (D2S),[a] porcentaje**
Agregado grueso:[b]		
Operador individual de precisión	0.10	0.28
Precisión multilaboratorio	0.22	0.62
Agregado fino:[c]		
Operador individual de precisión	0.15	0.43
Precisión multilaboratorio	0.29	0.82

[a] Estos números representan los límites (1S) y (D2S) descritos en ASTM C 670.

[b] Los estimados de precisión están basados habiendo un tamaño máximo nominal de 19.0mm(3/4pulg) con menos del 1.5 por ciento más fino que el tamiz de 75µm (Nº 200).

[c] Los estimados de precisión están basados en agregados finos habiendo 1.0 a 3.0 por ciento más fino que el tamiz de 75µm (Nº 200).

13.1.1 Los valores de precisión para agregado fino en la **Tabla E 4.2** están basados en muestras de ensayos nominales de 500-g. La revisión de este método de ensayo en 1996 permite el tamaño de la muestra de agregado fino a 300-g como mínimo. El análisis de resultados de ensayos a muestras de 300-g y 500-g de Muestras De Ensayos de Prácticas de Agregado 99 y 100 (las muestras 99 y 100 fueron esencialmente idénticas) produjeron los valores de precisión en la **Tabla E 4.3**, que indica sólo diferencias menores debido al tamaño de muestra de ensayo.

Tabla E 4.3 **Datos de precisión para muestras de ensayo de 300-g y 500-g**

Práctica de muestra de agregado fino				**Dentro del laboratorio**		**Entre laboratorios**	
Resultado de de ensayos	Tamaño de muestra	Nº de Labora -torios	Prom.	1S	D2S	1S	D2S
AASHTO T 11 / ASTM C 117 (Material total que pasa el tamiz Nº 200 por lavado, porcentaje)	500 g	270	1.23	0.08	0.24	0.23	0.66
	300 g	264	1.20	0.10	0.29	0.24	0.68

NOTA 7 - Los valores para agregado fino en la Tabla E 4.2 serán revisados para que reflejen los 300 g del tamaño de la muestra de ensayo cuando un número suficiente de Prácticas De Ensayos de Agregado ha sido dirigido usando el tamaño de la muestra para proveer datos confiables.

13.2 *Error*- no hay material de referencia adecuado para determinar el error en los procedimientos de este método de ensayo, ningún informe sobre errores se ha hecho.

14. EJEMPLO PRÁCTICO

Ver ejemplo práctico en guía para ensayo de análisis por tamices de agregados finos y gruesos, AASHTO T 27, Pág. 82.

Ensayo No. 5.

DENSIDAD BULK ("PESO UNITARIO") Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS.

Basado en norma AASHTO: T 19/T 19M-00
Con equivalencia en ASTM: C 29/C 29M-97

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento que se utiliza.
- Identificar el material y equipo que se utiliza en este ensayo.
- Calcular el valor de la densidad bulk.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bulk ("peso unitario") del agregado en una condición compactado o suelto, y el cálculo de vacíos entre partículas de agregado fino, grueso ó mezclas de ellos basados en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a agregados que no excedan un tamaño máximo nominal de 125 mm (5 pulg).

NOTA 1 - Peso unitario es la terminología tradicional usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, la cual es el peso por unidad de volumen (más correctamente, masa por unidad de volumen ó densidad).

2.2. Los valores indicados en unidades de pulgada-libra ó unidades métricas (SI) serán consideradas separadamente como estándar, apropiadas para una especificación con la cual éste método de ensayo es usado. Una excepción es con respecto al tamaño de los tamices y el tamaño nominal del agregado, en el cual los valores métricos son el estándar como se establece en AASHTO M 92. Dentro del texto, las unidades de pulgada-libra son mostradas en paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser equivalencias exactas; por consiguiente, cada sistema puede ser usado independientemente del otro, sin combinación de valores en ningún caso.

2.3. Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar, establecer prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS.

3.1 Normas AASHTO:

M 92, Tamices de Tela metálica para Propósitos de Ensayo.

M 231, Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos.

T 2, Muestreo de Agregados.

T 84, Gravedad Específica y Absorción de Agregado Fino.

T 85, Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso.

T 121, Masa por Metro Cúbico (Pie cúbico), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) en el Concreto.

T 248, Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

3.2 Normas ASTM:

C 29/C 29M, Peso Unitario y Vacíos en Agregado.

C 125, Terminología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto.

C 670, Preparación de Informes de Precisión y Error para Materiales de Construcción.

D 123, Terminología Relacionada a Materiales Textiles.

E 11, Especificación para Tela Metálica y Tamices para Propósitos de Ensayos.

4. DEFINICIONES

4.1 *Definiciones.*— Las definiciones están de acuerdo con ASTM C 125 a menos que se indique lo contrario.

4.1.1, *Densidad Bulk*, n.— de agregado, la masa de un volumen unitario de material agregado en bruto, en el cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre partículas. Expresado en Kg/m^3 (lb/pie^3).

4.1.1.1 *Discusión.*— Las unidades de masa son el kilogramo (Kg), la libra (lb), o las unidades que se derivan de estas. La masa también puede ser visualizada como el equivalente para la inercia, o la resistencia ofrecida por un cuerpo para cambiar de movimiento (aceleración). Las masas son comparadas pesando los cuerpos, lo cual equivale a comparar las fuerzas de gravitación actuando sobre ellas, ASTM D 123.

4.1.2. *Peso Unitario*, n .— Peso (masa) por unidad de volumen. (Término poco usado, se usa preferiblemente el término Densidad Bulk).

4.1.2.1 *Discusión.*— El término peso implica que la fuerza de gravedad actúa en la masa.

4.1.3. P*eso, n.* — La fuerza ejercida en un cuerpo por la gravedad. (Vea también masa.)

4.1.3.1. *Discusión.*— El peso es igual a la masa de el cuerpo multiplicado por la aceleración de la gravedad, El peso puede ser expresado en unidades absolutas (newton, libras) o en unidades gravitacionales (Kgf, lbf), por ejemplo: A nivel de la tierra, un cuerpo con una masa de 1Kg tiene un peso de 1 Kgf (aproximadamente 9.81 N), o un cuerpo con una masa de 1 lb tiene un peso de 1 lbf (aproximadamente 4.45 N o 32.2 libras). En vista de que el peso es igual a la masa por la aceleración debido a la gravedad, el peso de un cuerpo variará con la localización donde el peso es determinado, mientras que la masa del cuerpo permanece constante. A nivel de la superficie de la tierra, la fuerza de gravedad imparte a un cuerpo que está en caída libre una aceleración de aproximadamente 9.81m/s^2 (32.2 pie/s^2). ASTM D 123.

4.2. *Definición de términos*:

4.2.1. *Vacíos*, n.— En volumen unitario de agregado, es el espacio entre partículas en una masa de agregado no ocupado por el material mineral sólido.

4.2.1.1 *Discusión*.— Vacíos dentro de las partículas, ya sea permeable o impermeable, no son incluidos en los vacíos determinados por la norma AASHTO T 19.

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1. Este método de ensayo es frecuentemente usado para determinar valores de la densidad Bulk que son necesarios para usarlos en algunos métodos para seleccionar proporciones de mezclas de concreto.

5.2. La densidad Bulk también puede usarse para determinar la relación masa /volumen para conversiones en contratos de compra. Sin embargo, la relación entre el grado de compactación de agregados en una unidad de transporte o un apilamiento no esta incluido en este método. Adicionalmente, los agregados en unidades de transporte y apilamientos usualmente contienen humedad superficial o absorbida (la última afecta el valor bruto), mientras que en este método se determina la densidad Bulk en una base seca.

5.3. Un procedimiento es incluido para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado, basado en la densidad bulk determinada por este método.

6. EQUIPO

6.1. *Balanza*.— La balanza tendrá suficiente capacidad, que sea legible a 0.1 % de la masa de muestra, o mayor, y de acuerdo con los requisitos de AASHTO M 231 (ver **Fotografía E 3.2,** Ensayo No. 3).

6.2. *Varilla Apisonadora*.— Una varilla de acero para compactar punta de bala, con diámetro 16 mm (5/8 pulg) y aproximadamente 600 mm (24 pulg) de largo, teniendo un extremo redondeados o una punta esférica, del mismo diámetro que la varilla.

6.3. *Recipiente volumétrico*.— Un recipiente cilíndrico de metal, preferiblemente provisto con agarraderas. Será impermeable, con la parte superior y el fondo planos y nivelados, y suficientemente rígido para mantener su forma bajo un uso pesado. El recipiente deberá tener una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menor del 80 % ni mayor del 150% del diámetro. La capacidad del recipiente será de

acuerdo a los límites indicados en la **Tabla E 5.1** según el tamaño del agregado a ser ensayado. El espesor del recipiente de metal será como se describe en la **Tabla 5.2**. El borde superior del recipiente será liso y plano en un rango de 0.25 mm (0.01 pulg) de espesor y será paralelo al fondo en un rango de 0.5 ° (**NOTA 2**). La pared interior del recipiente será una superficie continua y lisa.

NOTA 2 - El borde superior es completamente plano si un calibrador de 0.25 mm (0.01 pulg) no puede ser insertado entre el borde y una pieza de vidrio de 6 mm (1/4 pulg) de espesor puesta sobre el depósito. La parte superior y el fondo son paralelos satisfactoriamente si las inclinaciones entre las piezas de la placa de vidrio en contacto con el borde superior y el fondo no exceden de 0.87 % en ninguna dirección.

Tabla E 5.1. **Capacidad del Recipiente Volumétrico.**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		**Capacidad del depósito[a]**	
mm	Pulg	L (m^3)	Pie^3
12.5	1/2	2.8 (0.0028)	1/10
25.0	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 1/2	14 (0.014)	1/2
75	3	28 (0.028)	1
112	4 1/2	70 (0.070)	2 1/2
150	6	100 (0.100)	3 1/2

[a] El tamaño indicado del recipiente será usado para ensayar agregados de un Tamaño Máximo Nominal igual a ó más pequeño que el listado. El volumen actual del recipiente será al menos de 95 % del volumen nominal listado

6.3.1. Si el recipiente también es usado para ensayos para densidad bulk de mezclas frescas de concreto de acuerdo con AASHTO T 121, el recipiente será hecho de acero u otro metal adecuado que no este sujeto al ataque inmediato del cemento. Materiales reactivos, como aleaciones de aluminio están permitidas, en donde como una consecuencia de la reacción inicial, se forma una película superficial la cual protege al metal contra una posterior corrosión.

6.3.2 Recipientes más grandes que la capacidad nominal de 28 L (1 pie^3) serán hechos de acero para darle rigidez, o espesores mínimos de metal listados en la **Tabla E 5.2** serán incrementados adecuadamente.

6.4. *Pala o Cucharón.*— Una pala o cucharón de tamaño conveniente para llenar el recipiente con agregado.

6.5. *Equipo de Calibración.* — Una pieza o placa de vidrio, preferiblemente con espesor de al menos 6 mm (1/4 pulg) y por lo menos 25mm (1 pulg) más largo que el diámetro del recipiente a ser calibrado. Agua para llenar el recipiente, grasa para colocar en el borde del recipiente para prevenir derrame o pérdida.

Tabla E 5.2 **Requerimientos para recipientes.**

Capacidad del Recipiente	Base o fondo	Espesor Mínimo del Metal. Arriba de 1 ½ pulg (38 mm) de pared. (a)	Agregue a la pared.
Menores que 11 L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 a 42 L	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
Entre 42 a 82 L	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
Entre 80 a 133 L	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm
Menores que 0.4 Pie³	0.20 pulg	0.10 pulg	0.10 pulg
0.4 Pie³ a 1.5 Pie³	0.20 pulg	0.20 pulg	0.12 pulg
Entre 1.5 a 2.8 Pie³	0.40 pulg	0.25 pulg	0.15 pulg
Entre 2.8 a 4.0 Pie³	0.50 pulg	0.30 pulg	0.20 pulg

(a) El espesor añadido en la parte superior de la pared, puede lograrse colocando una banda que refuerce la parte superior alrededor del recipiente.

7. MUESTREO

7.1. Obtenga la muestra de acuerdo AASHTO T 2, y reduzca la muestra a tamaño de ensayo de acuerdo con AASHTO T 248.

8. MUESTRA DE ENSAYO

8.1. El tamaño de la muestra será aproximadamente de 125 a 200 % de la cantidad requerida para llenar el recipiente volumétrico, y será manipulada en una forma que se evite la segregación. Seque la muestra de agregado esencialmente hasta obtener una masa constante preferiblemente en un horno a 110 ± 5 ˚C (230 ± 9 ˚F).

9. CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE VOLUMETRICO

9.1. Llene el recipiente volumétrico con agua a temperatura ambiente y tápelo con una placa de vidrio de tal manera que se eliminen las burbujas y exceso de agua.

9.2. Determine la masa de agua en el recipiente utilizando la balanza descrita en la Sección 6.1

9.3. Mida la temperatura del agua y determine su densidad usando los valores de la **Tabla E 5.3.**, interpole si es necesario.

9.4. Calcule el volumen, V, del recipiente volumétrico dividiendo la masa de agua requerida para llenar el recipiente por su densidad. Alternativamente calcúlese el factor para el recipiente (1/V) dividiendo la densidad del agua por la masa requerida para llenar el recipiente.

NOTA 3 - Para el cálculo de densidad bulk, el volumen del recipiente deberá expresarse en unidades métricas aceptables, en metro cúbico, o el factor como $1/m^3$. Sin embargo, por conveniencia el tamaño del recipiente volumétrico puede expresarse en litros (equivalentes a $m^3/1000$).

9.5. Los recipiente volumétricos serán recalibrados al menos una vez al año o cuando exista una razón para cuestionar la precisión de la calibración.

Tabla E 5.3. **Densidad del Agua**

Temperatura		Densidades	
°C	°F	Kg/m^3	Lb/pie^3
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
(23.0)	(73.4)	(997.54)	(62.274)
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.266

10. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

10.1. El procedimiento por paleo para la densidad bulk suelta será usado sólo cuando específicamente sea estipulado. De otra manera, la densidad bulk compactada será determinada por el procedimiento del varillado para agregados que tienen un tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 1/2 pulg) ó menor, o por el procedimiento de sacudimiento para agregados que tienen un tamaño máximo nominal mayor de 37.5 mm (1 1/2 pulg) y que no excedan los 125 mm (5 pulg).

11. PROCEDIMIENTO DE VARILLADO

11.1. Llene el recipiente hasta un tercio de su altura (**Fotografía E 5.1.b)**) y nivele la superficie con la mano. Compacte la capa de agregado con 25 golpes con la varilla, distribuidos igualmente sobre la superficie. Llene el depósito a dos tercios y vuelva a nivelar y varillar como se hizo antes.

Fotografía E 5.1. **a) Paleo de agregado y b) llenado del recipiente.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Finalmente, llene el recipiente hasta rebalsarlo y varille de nuevo en la forma previamente mencionada. Nivele la superficie del agregado con los dedos o una regla enrasadora (ver **Fotografía E 5.2.b)**) de tal manera que ninguna pieza del agregado

grueso sobresalga, balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente.

11.2 Al compactar la primera capa, no permita que la varilla toque el fondo del recipiente. Al apisonar o compactar la segunda y la tercera capa, aplique bastante fuerza pero no más de la necesaria para causar que la varilla penetre en la capa anterior de agregados (ver **Fotografía 5.2.a)**).

Antes de llenar el recipiente se recomienda combinar con una pala el agregado como se muestra en la **Fotografía E 5.1.a)**.

NOTA 4 – Al apisonar o compactar agregados grueso de gran tamaños, y no se puede lograr penetrar en la capa que esta siendo consolidada, especialmente con agregados angulares. El intento del procedimiento estará consumado si es usado un esfuerzo vigoroso.

Fotografía E 5.2. **a) Varillado de agregado y b) Enrasado del recipiente**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

11.3. Determine la masa del recipiente volumétrico más su contenido, **Fotografía E 5.3.,** y la masa del recipiente sólo y registre los valores con aproximación de 0.05 Kg (0.1 lb).

Fotografía E 5.3. **Registro del peso de muestra más recipiente.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

12. PROCEMIENTO DE ACOMODAMIENTO POR SACUDIDA

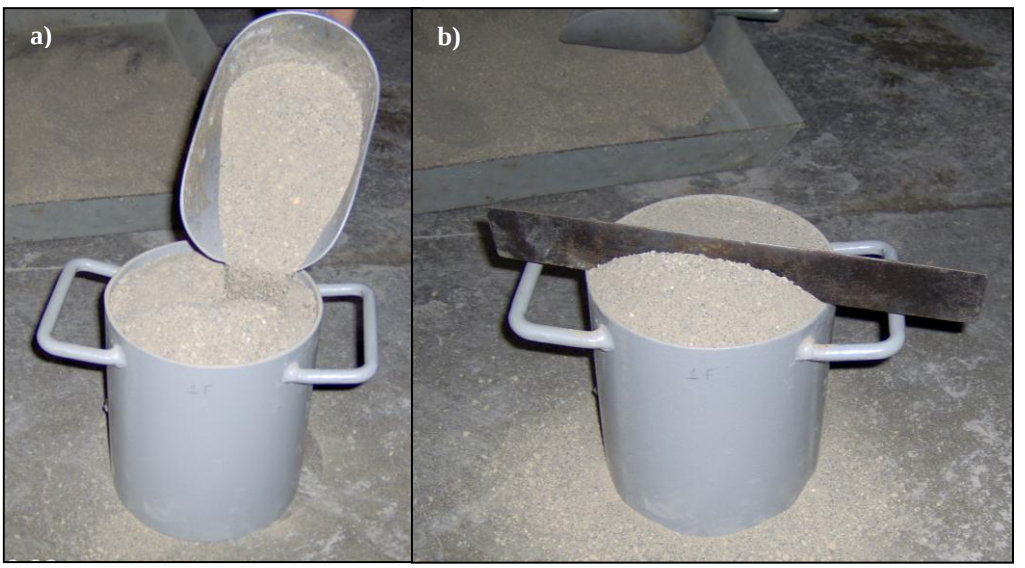
12.1. Llene el recipiente en tres capas aproximadamente iguales como se describe en la sección 11.1 compactando cada capa y colocando el recipiente en una base firme, tal como un piso de concreto, y levante los lados opuestos alternamente alrededor de 50 mm (2 pulg), y luego deje caer el recipiente de tal manera que golpee levemente el piso. Por este procedimiento, las partículas de agregado se acomodarán en una condición densamente compactada. Compacte cada capa dejando caer el recipiente 50 veces en la manera descrita, 25 veces a cada lado. Nivele la superficie del agregado con los dedos o con una regla enrasadora de tal manera que ninguna pieza grande del agregado grueso sobresalga, apropiadamente balancee los vacíos grandes en la superficie por debajo del borde del recipiente.

12.2 Determine la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente solo, y registre los valores con una aproximación de 0.05 Kg (0.1 lb).

13. PROCEDIMIENTO POR PALEO

13.1 Llene el recipiente (ver **Fotografía E 5.4.a)**) hasta rebalsarlo por medio de una pala o cuchara, descargando los agregados desde una altura que no exceda los 50 mm (2 pulg.) por encima de la parte superior del recipiente. Ejercite con cuidado para prevenir, tanto como sea posible, la segregación de las partículas grandes de las cuales se compone la muestra. Nivele la superficie del agregado con los dedos o una regla de tal forma que ninguna pieza grande de agregado grueso sobresalga del borde superior, balancee aproximadamente los vacíos grandes en la superficie por debajo del borde del recipiente.

13.2. Determine la masa del recipiente más su contenido, y la masa de el recipiente solo, y registre los valores con una aproximación de 0.05 Kg (0.1 lb).



Fotografía E 5.4. **a) Llenado del recipiente sin varillar y b) Enrasado.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

14. CÁLCULOS

14.1 *Densidad bulk* -Calcule la densidad bulk para los procedimientos por apisonado o compactado (varillado), sacudida, o paleo como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \qquad (1)$$

ó

$$M = (G - T) \times F \qquad (2)$$

Donde:

M = Densidad bulk del agregado, Kg/m^3 (lb/ft^3)

G = Masa de agregado más el recipiente, Kg (lb);

T = Masa del recipiente, Kg (lb)

V = Volumen del recipiente, m^3 (ft^3), y

F = Factor del recipiente, m^{-3} (ft^{-3}).

14.1.1 La densidad bulk determinada por este método es para agregado en una condición secado al horno. Si la densidad bulk en términos de condición saturada superficialmente seca (SSS) es deseada, use este procedimiento exactamente descrito en éste método, y entonces calcule la densidad bulk SSS usando la siguiente fórmula:

$$M_{SSS} = M\left[1 + (\frac{A}{100})\right]$$

Donde:

M_{SSS}: Densidad bulk en la condición SSS, Kg/m^3 (Lb/ft^3); y

A: % de Absorción, determinada de acuerdo con AASHTO T 84 o AASHTO T 85.

14.2. *Contenido de Vacíos* - Calcule el contenido de vacíos en el agregado usando la densidad bulk determinada por cualquiera de los procedimientos de varillada, sacudida o paleo, como sigue:

$$\%\text{Vacios} = \frac{100[(S \times W)] - M}{S \times W}$$

Donde:

M = Densidad bulk de agregado, Kg/m^3 (Lb/ft^3)

S = Densidad específica bulk (Gravedad Específica Bulk) (condición seca) determinada de acuerdo con AASHTO T 84 ó AASHTO T 85; y

W = Densidad del agua, 998 Kg/m^3 (62.3 Lb/ft^2)

15. REPORTE

15.1. Reporte los resultados para la densidad bulk con una aproximación de 10 Kg/m^3 (1 lb/ft^3) como sigue:

15.1.1. Densidad bulk por varillado.

15.1.2. Densidad bulk por acomodamiento.

15.1.3. Densidad bulk suelta.

15.2. Reporte los resultados para contenido de vacío con una aproximación de 1 % como sigue:

15.2.1. Vacíos en agregado compactado por varillado, en %

15.2.2. Vacíos en agregados compactado por acomodamiento, %, ó

15.2.3. Vacíos en agregados sueltos, %.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO Y VACIOS EN LOS AGREGADOS (AASHTO T19-00, ASTM C 29- 97)

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto/2007
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo:	Agosto/2007
Procedencia:	Aguilares	Laboratorista:	Hugo G.
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	
Material:	ARENA		

Peso de molde g	2833	Altura 1:	16.3 cm	Diámetro 1:	15.1 cm
Peso de molde Kg	2.833	Altura 2:	16.2 cm	Diámetro 2:	15.0 cm
		Altura 3:	16.4 cm	Diámetro 3:	15.2 cm
		H Prom:	16.3 cm	Ø Prom:	15.1 cm

Volumen del molde: 2918.98 cm^3 0.003 m^3

	Peso Unitario Suelto		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de muestra + molde Kg.	7.30	7.25	7.25
Peso de muestra Kg.	4.45	4.40	4.40
Peso unitario de agregado Kg/m^3	1520	1510	1510
%vacíos	38	39	39
Peso unitario de agregado (prom.) Kg/m^3	1510		
%vacíos promedio	39		

Observaciones:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO Y VACIOS EN LOS AGREGADOS (AASHTO T19-00, ASTM C 29- 97)

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto/2007
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo:	Agosto/2007
Procedencia:	Cantera Colima	Laboratorista:	Mauricio C.
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	
Material:	AGREGADO INTERMEDIO 1/4"-0"		

Peso de molde g	2833	Altura 1:	16.3 cm	Diámetro 1:	15.1 cm
Peso de molde Kg	2.833	Altura 2:	16.2 cm	Diámetro 2:	15.0 cm
		Altura 3:	16.4 cm	Diámetro 3:	15.2 cm
		H Prom:	16.3 cm	Ø Prom:	15.1 cm

Volumen del molde: 2918.98 cm^3 0.003 m^3

	Peso Unitario Suelto		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de muestra + molde Kg.	7.75	7.80	7.80
Peso de muestra Kg.	4.90	4.95	4.95
Peso unitario de agregado Kg/m^3	1630	1640	1640
%vacíos	42	41	41
Peso unitario de agregado (prom.) Kg/m^3	1640		
%vacíos promedio	41		

Observaciones:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO Y VACIOS EN LOS AGREGADOS (AASHTO T19-00, ASTM C 29- 97)

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto/2007
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo:	Agosto/2007
Procedencia:	Cantera Colima	Laboratorista:	Amilcar R.
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	
Material:	AGREGADO GRUESO		

Peso de molde g	5910	Altura 1:	28.1 cm	Diámetro 1:	20.9 cm
Peso de molde Kg	6.00	Altura 2:	28.0 cm	Diámetro 2:	21.1 cm
		Altura 3:	27.9 cm	Diámetro 3:	20.9 cm
		H Prom:	28.0 cm	Ø Prom:	21.0 cm

Volumen del molde: 9698.10 cm^3 0.010 m^3

	Peso Unitario Varillado		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de muestra + molde Kg.	22.00	22.00	22.00
Peso de muestra Kg.	16.00	16.00	16.00
Peso unitario de agregado Kg/m^3	1650	1650	1650
%vacíos	41	41	41
Peso unitario de agregado (prom.) Kg/m^3	1650		
%vacíos promedio	41		

	Peso Unitario Suelto		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de muestra + molde Kg.	21.00	21.00	21.00
Peso de muestra Kg.	15.00	15.00	15.00
Peso unitario de agregado Kg/m^3	1550	1550	1550
%vacíos	44	44	44
Peso unitario de agregado (prom.) Kg/m^3	1550		
%vacíos promedio	44		

Observaciones: _____

Ensayo No. 6.

FINOS PLÁSTICOS EN AGREGADO GRADUADO Y SUELOS POR EL USO DEL ENSAYO DEL EQUIVALENTE DE ARENA

Basado en norma AASHTO: T 176-02

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento que se utiliza en este ensayo.
- Identificar el material y equipo utilizado.
- Calcular el valor de equivalente de arena.
- Interpretar los resultados obtenidos.

2. ALCANCE

2.1. La intención de éste ensayo es que sirva como una prueba de campo rápida para mostrar las proporciones relativas de polvo fino o material arcilloso en suelos o agregados graduados.

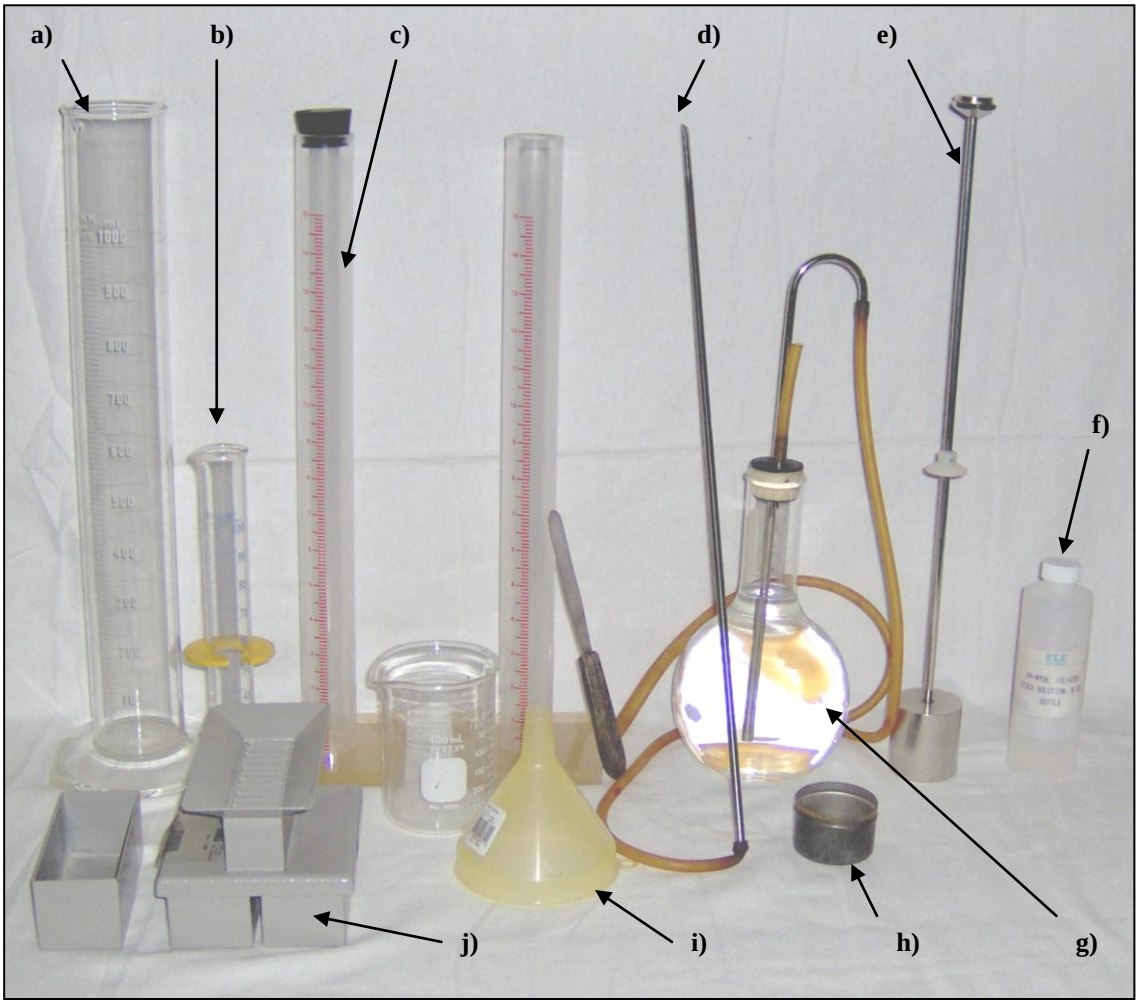
2.2. Lo siguiente tiene aplicación para todos los límites especificados en este estándar: Para el propósito de determinar conforme con esta especificación, un valor observado o calculado, será redondeado "al entero mas cercano" en el último lugar a la derecha de la cifra utilizada par expresar el valor limite, de acuerdo con AASHTO R 11, Indicando Cual posición de la Cifra deberá ser Considerado Significativa en el límite Especificado de Valores.

2.3. Los valores dados en unidades del SI deben ser considerados como el estándar.

2.4. Refiérase a AASHTO R 16 para información reguladora de productos químicos.

3. EQUIPO

3.1 Una probeta graduada, tapón de hule, tubo irrigador, pisón metálico de peso y medidas estándares y sifón ensamblado, todo conforme a sus respectivas especificaciones y sus dimensiones.



Fotografía E 6.1.

Equipo para ensayo Equivalente de Arena:
a) Probeta de 1000 ml de capacidad para medir la cantidad de agua.
b) Probeta de 350 ml de capacidad para medir la cantidad de cloruro de calcio (stock).
c) Probeta graduada con tapon de hule para precipitación de material fino.
d) Tubo irrigador. e) Pisón metálico. f) Cloruro de cálcio.
g) Matraz para producir el vacío.
h) Cápsula para medir la cantidad de material.
i) Embudo para depositar el material fino en la probeta graduada.
j) Cuarteador miniatura.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Ajuste el sifón a una botella de 4-L (1 gal) con la solución de trabajo de Cloruro de Calcio (ver sección 3.8) colocada en un estante a 915 mm ± 25 mm (36 ± 1 pulg) por encima de la superficie de trabajo. En lugar de la botella de 4L (1 gal) especificada, puede usarse un tanque de vidrio o plástico que tenga una capacidad mayor siempre que el nivel del líquido se mantenga entre 915 y 1170 mm (36 y 46 pulg) por encima de la superficie de trabajo.

NOTA 1 - Un modelo anterior de pisón tiene un tapón guía que se ajusta al borde superior de la probeta y centra la barra en la probeta, el pisón tiene una superficie superior cónica y tres tornillos para centrar holgadamente en la probeta. El modelo anterior no tiene indicador de lectura de arena ajustado a la varilla, pero una ranura en el centro del tornillo del pisón es usada para indicar la lectura de arena. Los equipos con indicador de lectura de arena se prefieren para ensayar materiales arcillosos.

3.2 *Una capsula de medida*, que tenga una capacidad de 85 ± 5 ml (3 oz), aproximadamente 57 mm (2.25 pulg) de diámetro.

3.3 Un embudo de boca ancha de aproximadamente 100 mm (4 pulg) de diámetro en la boca.

3.4. *Un reloj o cronómetro,* en el que se puedan leer minutos y segundos.

3.5. *Un agitador mecánico* que tenga una oscilación de 203.2 ± 1.0 mm (8.00 ± 0.04 pulg) y que funcione a 175 ± 2 ciclos por minuto (2.92 ± 0.03 Hz) (**NOTA 2**). Antes de usar, el agitador mecánico de equivalente de arena asegúrelo firmemente y nivelado.

3.6. *Un agitador operado manualmente*, capaz de producir un movimiento oscilante a razón de 90 ciclos completos en 45 ± 5 segundos, con ayuda de una manivela con una longitud de 127 ± 5 mm (5.0 ± 0.2 pulg). El agitador será sujetado fuertemente en un montaje firme y nivelado, por pernos o abrazaderas si se van a hacer un número grande de ensayos.

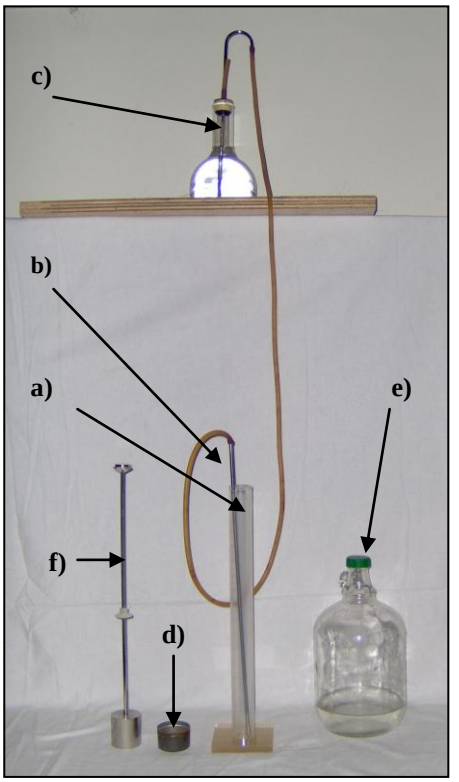
NOTA 2 — El agitador mecánico debe usarse cuando se realicen ensayos de equivalente de arena para referencia. Siempre que sea posible es mejor utilizar el agitador mecánico, en vez del método de agitado manual.

3.7. *Solución Stock* - Los materiales mencionados en las Secciones 3.7.1, 3.7.2, ó 3.7.3 puede ser usados para preparar la solución Stock. Una cuarta alternativa es usar

cualquier biocida previendo su tiempo de almacenamiento suficiente de la solución Stock, que no propicie la formación y crecimiento de hongos.

3.7.1. Solución Stock con formaldehído.

3.7.1.1. Cloruro de Calcio Anhidrico, 454 g (1.0 lb) de grado industrial.



Fotografía E 6.2.

Ensamble montado:
a) Probeta graduada, b) tubo irrigador,
c) sifón ensamblado, d) cápsula,
e) solución preparada, f) pisón metálico.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

3.7.1.2. Glicerina USP, 2050 g (1640 ml).

3.7.1.3. Formaldehído, (solución 40 % de volumen) 47 g (45 ml).

3.7.1.4. Disuelva los 454 g (1.0 lb) de cloruro de calcio en 1.89 L (1/2 galón) de agua destilada. Enfríe y filtre a través de papel filtro previamente plegado en el filtro.

Agregue los 2050 g de glicerina y los 47 g de formaldehído a la solución filtrada, mezcle completamente y disuelva en 3.78 L (1 galón).

3.7.2. Solución Stock con glutaraldehído.

3.7.2.1. Cloruro de Calcio Dihidratado, 577 g (1.27 lb) de grado A.C.S.

NOTA 3 —Cloruro de Calcio Dihidratado grado A.C.S. está especificado para la solución stock preparada con glutaraldehído porque ensayos indican que impurezas en el Cloruro de Calcio Dihidratado de grado técnico puede reaccionar con el glutaraldehído resultando en un sedimento desconocido.

3.7.2.2. Glicerina USP, 2050 g (1640 ml).

3.7.2.3. 1.5-Pentanedial (Glutaraldehído), solución de 50% en 59 g de agua, (53 ml).

3.7.2.4. Disuelva los 577 g (1.27 lb) de Cloruro de Calcio Dihidratado ($CaCl_2.2H_2O$ en 1.89 L (1/2 gal.) de agua destilada. Enfríe y agregue los 2050 g de glicerina y los 59 g de glutaraldehído a la solución, mezcle completamente y disuelva en 3.78 L (1 gal.).

NOTA 4 - El 1.5-Pentanedial es también conocido como glutaraldehído, dialdehído glutarico o con el nombre comercial UCARCIDE 250 y puede ser obtenido como Solución de Glutaraldehído al 50 %.

3.7.3. Solución Stock con Kathon CG/ICP.

3.7.3.1. Cloruro de Calcio Dihidratado, 577g (1.27 lb) de grado A.C.S.

3.7.3.2. Glicerina USP, 2050 g (1640 ml).

3.7.3.3. Kathon CG/ICP, 563 g (53 ml).

3.7.3.4. Disuelva los 577 g (1.27 lb) de Cloruro de Calcio Dihidratado en 1.89 L (1/2 gal.) de agua destilada. Enfríe y agregue los 2050 g de glicerina y los 63 g de Kathon CG/ICP a la solución, mezcle completamente y disuelva en 3.78 L (1 gal).

3.8. Solución de trabajo de Cloruro de Calcio: Prepare la solución de trabajo de cloruro de calcio diluyendo una medida llena (85 ± 5 ml) de la solución stock de Cloruro de Calcio a 3.8 L (1 gal) de agua. Use agua destilada ó desmineralizada para la preparación normal de la solución de trabajo. Sin embargo, si se determina que el agua potable local es de una pureza que no afecte los resultados ensayados, es permitida usarla en vez de

agua destilada o desmineralizada excepto en el caso de no estar verificada su pureza. La solución de trabajo que tiene más de 30 días deberá ser descartada.

3.9. Una regla o espátula, adecuada para enrasar el material excedente de la capsula de medida.

3.10. Un horno de secado controlado termostáticamente, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 ˚C (230 ± 9 ° F).

3.11. Corte ó divida una tela, aproximadamente cuadrada de 600mm (2 pies), la cual debe ser poco absorbente como un plástico o una lona.

3.12. *Agarradera opcional para el Tubo Irrigador*.- Una agarradera de con un diámetro de 25 mm ayudara a introducir el tubo de irrigación a la fuerza en materiales gruesos.

4. CONTROL

4.1. La temperatura de la solución de trabajo deberá mantenerse a 22 ± 3 ° C (72 ± 5 °F) durante el desarrollo de este ensayo. Si las condiciones de campo no permiten mantener el rango de temperatura, frecuentemente las muestras de referencia deberán ser enviadas a un laboratorio, donde el control de la temperatura sea la apropiada. También se deben establecer las curvas de corrección de temperatura para cada material que será ensayado, corrigiéndolos en campo cuando el control de la temperatura no es posible. Sin embargo, ninguna curva general de corrección deberá ser utilizada para varios materiales, aun dentro de un rango de valores de equivalente de arena. Las muestras que se encuentran en los requisitos mínimos equivalentes en una temperatura de solución de trabajo, debajo del rango recomendado no necesitan estar sujetas a ensayos de referencia.

5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1. El ensayo de equivalente de arena será desarrollado en suelos o materiales de agregados graduado que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Todos los grumos de material de suelos de grano fino deberán ser pulverizadas para que pasen el tamiz de

4.75 mm, y todos las finos de las partículas retenidas en la malla de 4.75 mm serán limpiados e incluidos con el material que pasa el tamiz de 4.75-mm.

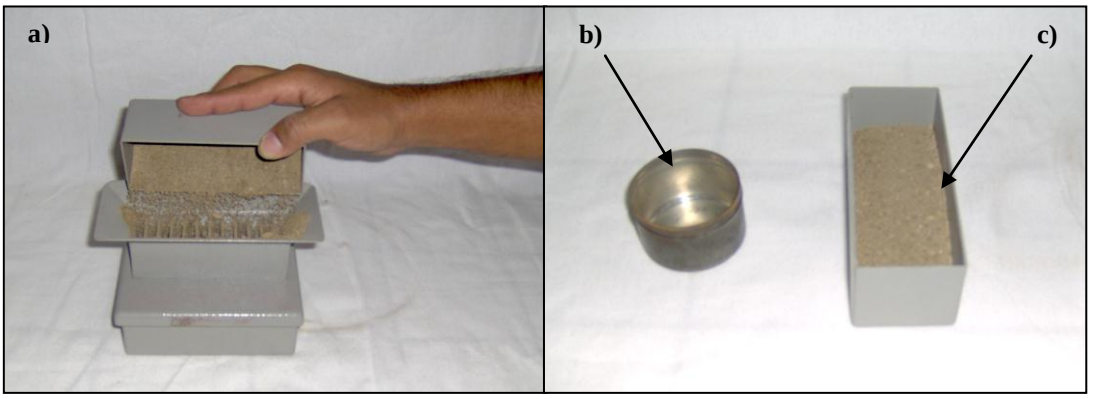
5.2 Divida o cuartee suficientemente la muestra original para producir ligeramente más de cuatro medidas de la capsula de 85 ml (3 oz) de material que pasa el tamiz de 4.75 mm. Tenga mucho cuidado para obtener una porción representativa de la muestra original (**NOTA 5**).

NOTA 5 - Experimentos muestran que la cantidad de material a ser reducido por división o cuarteo disminuye la exactitud representativa de la porción reducida. Es importante que la muestra sea dividida o cuarteada cuidadosamente. Cuando sea necesario, humedezca el material antes de dividir o cuartear, para evitar la segregación o pérdida de finos.

5.3. Prepare el número deseado de muestras de ensayo por uno de los siguientes métodos:

5.3.1. *Método Alterno No. 1*- Secado al aire.

5.3.1. Divida o cuartee bastante material de la porción que pasa el tamiz de 4.75 mm para llenar la capsula de 85-ml (3 oz) de tal manera que rebalse ligeramente sobre el borde de la capsula. Al llenar la capsula, golpee ligeramente el fondo de la capsula en la mesa de trabajo u otra superficie dura, para provocar consolidación del material de forma tal que permita ingresar una cantidad máxima en la capsula. Retire el excedente sobre el nivel de la capsula con una espátula o una regla recta.



Fotografía E 6.3. **a) Cuarteador miniatura b) Capsula c) Material cuarteado.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

5.3.2. *Método Alterno No. 2*—Pre-húmedo.

5.3.2.1. La muestra debe estar en la condición adecuada de humedad para lograr resultados confiables. Esta condición se puede determinar apretando fuertemente en la palma de la mano una porción de la muestra mezclándola completamente. Si la porción moldeada en la palma de la mano permite ser manipulada cuidadosamente sin romperse, entonces el rango de humedad adecuado ha sido obtenido. Si el material esta demasiado seco, entonces la porción moldeada en la palma de la mano, se desmoronará y será necesario añadir más agua, mezclar y reensayar; repita hasta que el material apretado en la palma de la mano mantenga su forma. Si el material al ser apretado en la palma de la mano presenta un exceso en la cantidad de agua, entonces está demasiado húmedo para ensayar y deberá ser secarse al aire, mezclándolo frecuentemente para garantizar uniformidad. Si el material esta excesivamente húmedo se moldeara fácilmente en la palma de la mano, si es así el proceso de secado debe continuar. Si la humedad contenida en la muestra original preparada en la Sección 5.2 está dentro de los límites descritos anteriormente, la muestra de ensayo puede ser obtenida inmediatamente. Si el contenido de humedad para conocer estos límites, es alterado, la muestra alterada podrá ser colocada en una charola, se cubrirá con una tapa o una tela húmeda que no toque el material, y permita reposar por un tiempo mínimo de 15 minutos.

5.3.2.2. Después del período mínimo de 15 minutos de reposo, coloque la muestra en la tela y mezcle levantando cada esquina de la tela, sobre la muestra, halándola hacia la esquina diagonalmente opuesta, provocando que el material se enrolle. Cuando el material este homogéneo, termine el mezclado de la muestra en un apilamiento cerca del centro de la tela.

5.3.2.3. Llene la capsula de 85-ml (3-oz) haciéndola pasar por la base del apilamiento ejerciendo presión con la mano contra el apilamiento en el lado opuesto de la capsula. Como la capsula es movida a través del apilamiento, ejerza suficiente presión con la mano para causar que el material entre en la capsula hasta derramarse. Presione firmemente con la palma de la mano, compactando el material de tal manera que permita

introducir una cantidad máxima en la capsula. Retire el excedente sobre el borde de la capsula con una espátula o una regla.

NOTA 6 - Los especimenes ensayados húmedos producen valores bajos de equivalente de arena que los correspondientes especimenes secos con casi ninguna de las excepciones; por consiguiente, si se utiliza una especificación que abarque ambos métodos húmedo y seco para la preparación de muestras, entonces hay que determinar la corrección apropiada para cada material, cuando una corrección estándar no sea posible. Sin embargo, cualquier método puede ser utilizado con igual confianza.

5.3.3. *Método de Referencia (Agitador Mecánico).* –

Obtenga la medida de material con la capsula de 85-ml (3-oz) por uno de los métodos alternos, según las Secciónes 5.3.1 ó 5.3.2, entonces seque la muestra a ensayar hasta constante a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), enfríe a temperatura ambiente antes de ensayar.

6. PROCEDIMIENTO

6.1. Inicie introduciendo aire a presión en el sifón en la parte superior de la botella de la solución a través de un tubo doblado de cobre, de vidrio, o de acero inoxidable mientras que la abrazadera que sujeta el tubo esta abierta. Ahora el equipo esta listo para su uso.

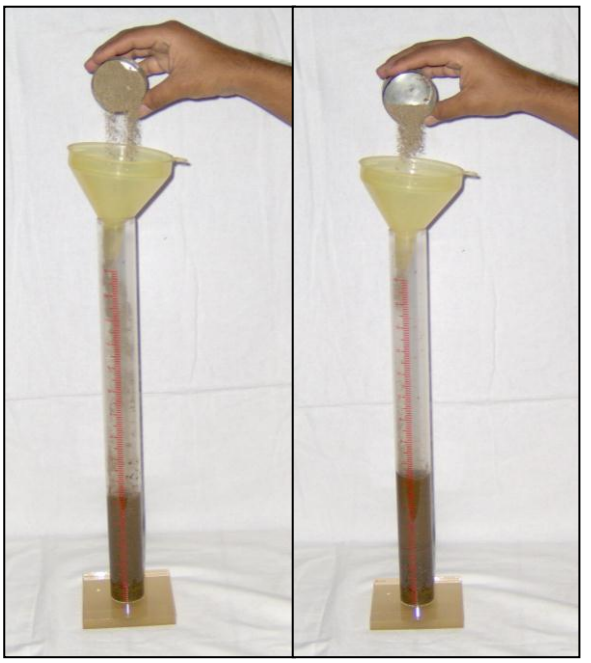
6.2. Introduzca la solución de trabajo de cloruro de calcio en el sifón de 101.6 ± 2.5 mm (4.0 ± 0.1 pulg.) a la probeta. Verter la muestra de ensayo, preparada en la capsula, en la probeta utilizando un embudo para evitar perdida de material. (Vea **Fotografía E 6.4.**). Golpee ligeramente el fondo de la probeta con la palma de la mano varias veces para que suelte las burbujas de aire y lograr humedecer completamente la muestra.

6.3. Deje reposar la muestra por 10 ± 1 minuto para que se humedezca y homogenice (No mover la probeta). Al final del período de humedecimiento de 10 minutos, tape la probeta, luego remueva el material del fondo parcialmente invirtiendo la probeta, agitándola y sacudiéndola simultáneamente.

6.4. Después de remover el material del fondo de la probeta, agite o sacuda la probeta y su contenido por cualquiera de los siguientes métodos:

6.4.1. *Método Mecánico de Vibración (Método de Referencia)* – Deposite la probeta tapada en el agitador mecánico de equivalente de arena, inicie el cronometro, y permita que la máquina agite o sacuda la probeta y sus contenidos por 45 ± 1 segundo.

6.4.2. *Método Manual de Vibrado* – Asegure la probeta tapada, con las tres abrazaderas elásticas en el riel del agitador manual del equivalente de arena y reinicie el contador de ciclos a cero. Manténgase directamente delante del agitador y coloque el puntero del marcador en el límite de ciclos indicado en la tabla que se encuentra en la parte de atrás teniendo que aplicar una fuerza horizontal a la parte superior de la correa de acero, de la derecha. Entonces remueva la mano de la correa y la acción elástica de las correas hará mover el riel y la probeta en sentido inverso sin asistencia u obstáculo.



Fotografía E 6.4. **Transferencia de muestra a la probeta graduada.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Aplique suficiente fuerza a la correa de acero de la derecha durante el periodo de empuje de cada ciclo para mover el puntero del marcador al límite de ciclo empujándolo contra la correa con las puntas de los dedos para mantener un movimiento oscilante suave.

El centro del marcador del límite de ciclos es posicionado para proveer el largo y ancho correcto del ciclo que provee el límite máximo de variación permisible. La acción adecuada de sacudida esta finalizada cuando el puntero se pone en la dirección opuesta este dentro de los límites del marcador. La acción adecuada de agitación puede ser mantenida usando el antebrazo y la acción de la muñeca para propulsar el agitador. Mantenga la acción de agitación estremecedora para 100 ciclos.

6.4.3. *Método Manual.* - Tome la probeta en una posición horizontal, como se muestra en la **Fotografía E 6.5.**, agite o sacuda vigorosamente en un movimiento horizontal lineal de un extremo a otro. Agite o sacuda la probeta, 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos usando un movimiento de 229 ± 25 mm (9 ±1 pulg). Un ciclo está definido como un movimiento de vaivén completo. Para agitar o sacudir correctamente la probeta a esta velocidad, será necesario que el operador agite o sacuda sólo con los antebrazos, relajando el cuerpo y los hombros.

Fotografía E 6.5. **Agitación manual de la muestra.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

6.5. Después de la operación de agitado o sacudido, coloque la probeta en la mesa de trabajo y remueva el tapón.

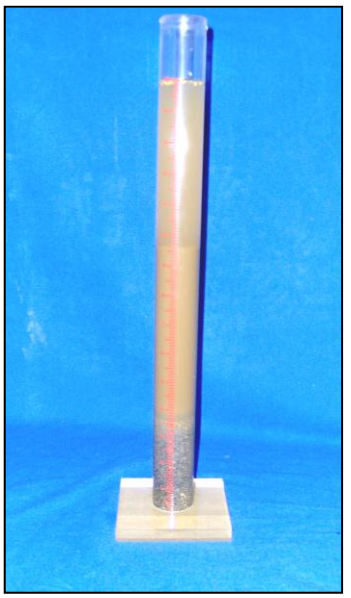
6.6. *Procedimiento de irrigación*.– Inserte el tubo irrigador en la probeta y remueva el material de las paredes de la probeta a medida que el irrigador es bajado. Haga pasar el irrigador con fuerza a través del material hasta el fondo de la probeta ejerciendo un apisonamiento suave y una acción de giro mientras la solución de trabajo fluye desde la punta del irrigador. Este procedimiento provocara que el material fino se suspenda por encima de las partículas más gruesas de arena. Continúe aplicando la acción de apisonamiento y giro mientras se remueven los finos y ascienden hasta que la probeta se llene hasta la marca de 381-mm. Entonces levante el irrigador lentamente sin desconectar el flujo a fin de que el nivel del líquido se mantenga en 381 mm mientras el irrigador es retirado. Regule el flujo poco antes de que el irrigador sea completamente retirado y ajuste el nivel final a 381 mm. El nivel final es ajustado por el fondo del menisco que estará entre dos graduaciones de la probeta, pero no por encima del nivel de 381 mm.

NOTA 7 - Para ciertos suelos, particularmente en materiales triturados, la acción de apisonamiento pueda que no sea posible. Para estos materiales, la técnica de irrigación es como sigue: continúe ejerciendo una acción de giro con el tubo de irrigación sacándolo lentamente. Cuando el tubo es retirado, es esencial que muchos finos queden suspendidos, hasta que la probeta sea llenada a la marca de 381 mm.

6.7. Permita que la probeta y su contenido se mantengan sin perturbaciones por 20 minutos ± 15 segundos, ver **Fotografía E 6.6.** Inicie el cronometraje inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

6.8. Al final del período de sedimentación de 20 minutos, lea y registre el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla. Esto será referido como la "lectura de arcilla", **Fotografía E 6.7.a)**. Si ninguna línea clara de demarcación se ha formado al final del período de sedimentación de 20 minutos especificados, permita que la muestra repose hasta que la lectura de arcilla pueda ser obtenida, luego inmediatamente lea y registre el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla y el tiempo total de sedimentación. Si el tiempo total de sedimentación excede los 30 minutos, repita el ensayo usando tres

muestras individuales del mismo material. Lea y registre la altura de la columna de arcilla de esa muestra requiriendo sólo el período de sedimentación más corto de ensayo.



Fotografía E 6.6. **Material agitado listo para reposar.**

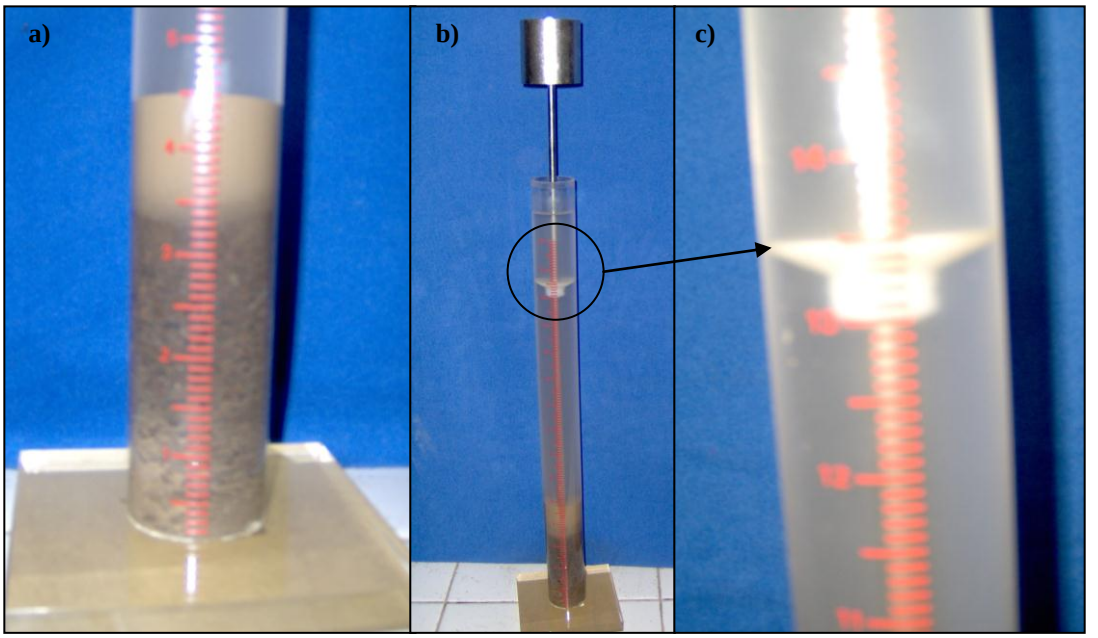
Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

6.9. Después de que la lectura de arcilla ha sido tomada, la "lectura de arena", **Fotografía E 6.7.b).**, será obtenida por uno de los siguientes métodos:

6.9.1. Cuando use el pisón que tiene el indicador de arena en la barra ensamblado, coloque el pisón encima de la probeta y suavemente baje el pisón hasta que este llegue a descansar sobre la arena. No permita que el indicador golpee la boca de la probeta cuando el pisón está siendo bajado. Cuando el pisón llegue a descansar sobre la arena, la punta del indicador en las graduaciones de la probeta indicara donde está el borde del interior de la probeta. Reste 254 mm (10 pulg.) del nivel indicado por el extremo superior del indicador y registre este valor como la "lectura de arena"" (Vea **Fotografía E 6.7.**).

6.9.2. Si es usado un modelo anterior de pison que tiene tornillo de centrando, mantenga uno de los tornillos centrado en contacto con las paredes de la probeta cerca de las graduaciones a fin de que pueda verse en todo momento, mientras el pison está siendo

bajado. Cuándo pisón se ha detenido finalmente en la arena, lea el nivel del tornillo de centrado y registre este valor como la "lectura de arena".



Fotografía E 6.7. **Toma de lecturas: a) Lectura de finos o de arcilla b) lectura de arena y c) detalle de lectura de arena**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

6.10. Si las lecturas de arcilla o arena caen entre la graduación de 2.5 mm (0.1 pulg), registre el nivel de la graduación más alta como la lectura. Por ejemplo, una lectura de arcilla de 7.95 estaría registrada como 8.0, y una lectura de arena de 3.22 estaría registrada como 3.3.

NOTA 8 - Las muestras obtenidas de agregados con propósito de ser usadas en mezclas asfálticas en calientes para pavimentos deberán prepararse por secado en horno si la aceptación del material se basa en pruebas de material que ha pasado una planta de secado en caliente.

7. CÁLCULOS

7.1. Calcule el equivalente de arena (EA) al 0.1 % más próximo, usando la siguiente fórmula:

$$EA = \left[\frac{\text{Lectura} \ldots \text{de} \ldots \text{arena}}{\text{Lectura} \ldots \text{de} \ldots \text{arcilla}} \right] \times 100 \qquad (1)$$

7.2. Si el equivalente de arena (EA) calculado no es un número entero, repórtelo como el siguiente número entero mayor, como en el siguiente ejemplo:

$$EA = \frac{3.8}{8} \times 100 = 41.25 \qquad (2)$$

Deberá ser reportado como 42.

7.3. Si desea promediar una serie de valores de equivalente de arena, promedie los valores de números enteros como se describió arriba. Si el promedio de esos valores no es un número entero, entonces auméntelo al siguiente número entero mayor, como en el siguiente ejemplo:

Valores calculados EA: 41.2, 43.8, 40.9.

Después de aproximar cada uno al siguiente número entero más alto, ellos se convierten como: 42, 44, 41.

El promedio de estos valores es entonces determinado:

$$\frac{42 + 44 + 41}{3} = 42.3 \qquad (3)$$

7.3.1. Puesto que el promedio de valores no es un número entero, es aumentado al siguiente número entero mayor y los promedios y el valor equivalente es reportado como 43.

8. PRECAUCIONES

8.1 Realice el ensayo en un lugar libre de vibraciones; ya que estas pueden causar que el material en suspensión se asiente, obteniéndose un valor mayor de lo normal.

8.2. No exponga las probetas a la luz directa del sol más de lo que es necesario.

8.3. *Extracción de crecimiento Orgánico.* – Ocasionalmente puede ser necesario remover el crecimiento orgánico del envase de la solución de trabajo de cloruro de calcio del

interior de la tubería flexible y el tubo irrigador. Este material orgánico fácilmente puede verse como una sustancia lanosa en la solución. Para remover este crecimiento, prepare un solvente limpiador diluyendo hipocloruro de sodio con una cantidad igual de agua. Llene el envase de solución con el solvente de limpieza preparado, y permita fluir un litro del solvente limpiador a través del ensamble del tubo del sifón y del irrigador, luego coloque la abrazadera de la pieza al final de la tubería para recortar el flujo del solvente y mantenerlo en el tubo. Rellene el envase y permita reposar toda la noche. Después de estar en reposo, permita que el solvente limpiador fluya afuera a través del ensamble del sifón y el tubo irrigador. Remueva el ensamble del sifón del envase de solución y enjuague ambos con agua limpia. El ensamble de tubo irrigador y el sifón pueden ser enjuagados fácilmente uniendo una manguera entre el pie del tubo irrigador y agua del grifo y lavar desde atrás con agua fresca a través del tubo.

8.4. Ocasionalmente el orificio del tubo irrigador pueden llegar a taparse por una partícula de arena. Si la obstrucción no puede ser liberada por cualquier otro método, entonces use un alfiler u otro objeto puntiagudo para forzar que salga, teniendo mucho cuidado de no aumentar el tamaño de la abertura.

9. APTITUDES DEL OPERADOR

9.1.1. El operador debe ser capaz de obtener un ensayo coherente de equivalente de arena, resultado de muestras representativas de cualquier material dado, cuando el ensayo es realizado de acuerdo con el procedimiento prescripto para ese método particular. El ensayo de un operador, los resultados se consideran coherentes, si los resultados individuales de tres ensayos realizados en muestra representativa de cualquier material dado no varían por más de ± 4 puntos del promedio de estas pruebas.

9.1.2. El promedio de tres ensayos por un operador en cualquier material dado, debe corresponder dentro de ± 4 puntos con el promedio de tres ensayos en el mismo material cuando fue ensayado usando el método mecánico de agitador (Método de Referencia).

9.2. El ± 4 puntos es una calificación mínima y no deberá ser considerado perfección. Cada operador debería esforzarse en perfeccionar la técnica para obtener resultados equivalentes para el método mecánico del agitador. Los operadores deberían estar obligados a realizar pruebas de calificación cuando quieran que sus resultados tengan una tendencia a diferenciarse sensiblemente de esos obtenidos usando el método mecánico del agitador. Las pruebas de calificación deberían estar hechas en intervalos regulares para asegurar un grado de exactitud razonable y una estandarización de resultados experimentales.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA

(AASHTO T 176)

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto 07
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo:	Agosto 07
Procedencia:	Aguilares	Laboratorista:	Amilcar R.
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	
Material:	ARENA		

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Lectura de Arcilla	A	5.1	5.2	5.4
Lectura de Arena	B	4.4	3.5	4.1
Equivalente de Arena	(B / A) x100	87	68	76
Promedio		77		

Observaciones:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA

(AASHTO T 176)

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto 07
Proyecto:	Trabajo de Graduación	Fecha de ensayo:	Agosto 07
Procedencia:	Cantera Colima	Laboratorista:	Hugo G.
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	
Material:	AGREGADO INTERMEDIO		

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Lectura de Arcilla	A	4.5	4.5	
Lectura de Arena	B	3.5	3.7	
Equivalente de Arena	(B / A) x100	78	83	
Promedio		81		

Observaciones:

Ensayo No. 7.

PARTÍCULAS PLANAS, PARTÍCULAS ALARGADAS, Ó PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO

Basado en norma ASTM D 4791 - 99

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento usado.
- Identificar el material y equipo utilizado.
- Calcular el valor de partículas planas, largas, planas y largas, ni planas ni largas.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas, o partículas planas y alargadas en agregados gruesos.

2.2 Los valores declarados en unidades de libra-pulgada deben ser considerados como el estándar excepto con atención al tamaño del tamiz y al tamaño de agregado, los cuáles están dados en unidades SI de conformidad con la Especificación ASTM E 11. Las unidades SI entre paréntesis son sólo para propósitos de información

2.3 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Norma AASHTO:

T 27 Método de Ensayo para Análisis por Tamices de Agregado Fino y Grueso.

T 248 Práctica para reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

T 2 Práctica para Muestrear Agregados.

3.2 Norma ASTM:

C 125 Terminología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto.

E 11 Especificación para Tamices de Tela metálica para Propósitos de Ensayos.

4. DEFINICIONES

4.1 Definiciones:

4.1.1 *Partícula plana o alargada de agregado.*— Son partículas de agregado que tienen una relación de ancho a espesor o de largo a ancho mayor que un valor especificado (vea Terminología ASTM C 125).

4.1.2 *Partículas planas y alargadas de agregado.*— Son partículas que tienen una relación de largo a espesor mayor que un valor especificado.

4.1.3 *Largo.* — Dimensión máxima de la partícula.

4.1.4 *Ancho.*— Dimensión máxima en el plano perpendicular al largo.

4.1.5 *Espesor.*— Dimensión máxima perpendicular al largo y ancho.

5. RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO.

5.1 Las partículas individuales de agregado de un tamaño específico de tamiz es medido para determinar las relaciones de ancho a espesor, de largo a ancho, o largo a espesor.

6. SIGNIFICADO Y USO.

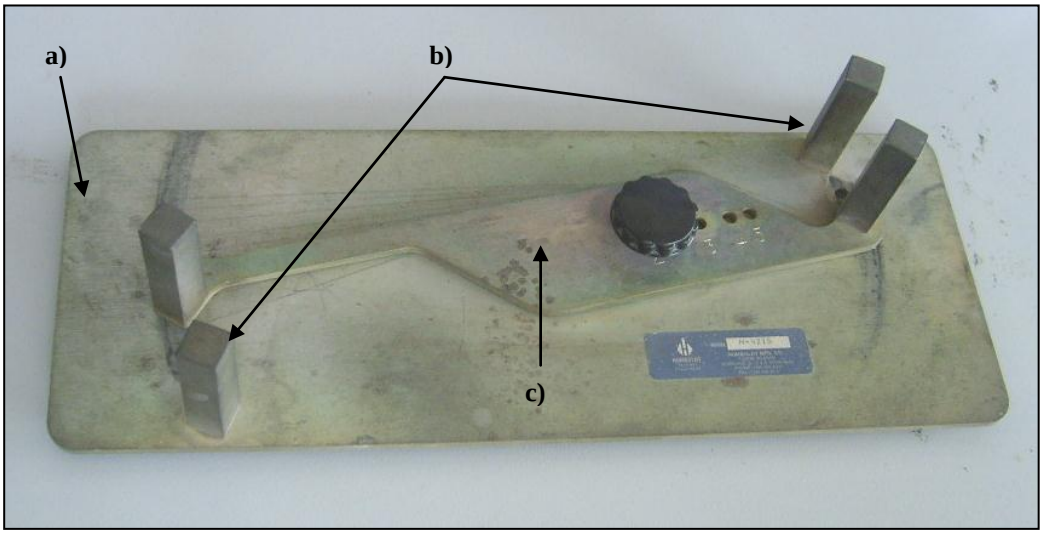
6.1 Las Partículas Planas o alargadas de agregados, para uso en alguna construcción, pueden interferir en la consolidación y resultar en grandes dificultades para colocar materiales.

6.2 Este método de ensayo provee una manera para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa característica del agregado grueso.

7. EQUIPO

7.1 El aparato usado será equipo adecuado para ensayar partículas de agregado de acuerdo con las definiciones en la sección 4.1, en las relaciones dimensionales deseadas.

7.1.1 *Dispositivo Calibrador Proporcional.*— El dispositivo Calibrador Proporcional, ver **Fotografía E 7.1,** es el dispositivo adecuado para este método de ensayo. El cual consta de un plato base con dos barras fijas (perpendiculares a la base) y un brazo móvil colocado entre ellas a fin de que las aberturas entre el brazo y las barras mantenga una relación constante. La posición del eje puede ser ajustada para proveer la relación deseada de abertura de dimensiones.



Fotografía E 7.1.

Calibrador Proporcional:
a) Plato base b) Barras fijas c) Brazo móvil

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

7.1.1.1 *Verificación de la relación.*— La relación elegida en el dispositivo calibrador proporcional serán verificados por el uso de un bloque labrado a máquina, micrómetro, u otro dispositivo designado.

7.1.2 *Balanza.*— La balanza ó báscula la cual deberá tener una exactitud de 0.5% de la masa de la muestra.

8. MUESTREO

8.1 Muestree el agregado grueso de acuerdo con el ensayo AASHTO T 2. La masa de la muestra de campo será la masa especificada en la Práctica AASHTO T 2.

8.2 Mezcle completamente la muestra y redúzcala a una cantidad adecuada para ensayar usando los procedimientos aplicables descritos en el ensayo AASHTO T 248. La muestra para el ensayo será aproximadamente la masa deseada cuando este seca y será resultado final de la reducción. La reducción a una masa predeterminada exacta no será permitida. La masa de la muestra de ensayo será conforme a la **Tabla E 7.1**

Tabla E 7.1 **Cantidad de masa a ensayar.**

Tamaño Máximo Nominal del tamiz		Masa Mínima de la Muestra de Ensayo,	
mm	**(pulg)**	**Kg.**	**(lb)**
9.5	(3/8)	1	(2)
12.5	(1/2)	2	(4)
19.0	(3/4)	5	11)
25.0	(1)	10	(22)
37.5	(1 ½)	15	(33)
50	(2)	20	(44)
63	(2 ½)	35	(77)
75	(3)	60	(130)
90	(3 ½)	100	(220)
100	(4)	150	(330)
112	(4 ½)	200	(440)
125	(5)	300	(660)
150	(6)	500	(1100)

9. PROCEDIMIENTO

9.1 Si la determinación por masa es requerida, seque la muestra en horno hasta masa constante a una temperatura de 230 ±9 ˚F (110 ± 5 ˚C). Si la determinación es por conteo de las partículas, el secado no es necesario.

9.2 Tamice la muestra a ser ensayada de acuerdo con el Método de Ensayo AASHTO T 27. Use el material retenido en la de 9.5 mm (3/8 pulg) ó 4.75 mm (No. 4), según lo solicitado por la especificación que está siendo usada, reduzca cada tamaño de

fracción presente a una cantidad de 10 % o más de la muestra original de acuerdo con la práctica AASHTO T 248 hasta que aproximadamente 100 partículas sean obtenidas para cada fracción de tamaño requerida.

9.3 *Ensayo de partículas planas y ensayo de partículas alargadas.* — Ensaye cada una de las partículas en cada fracción de tamaño y colóquela en uno de tres grupos: (1) planas, (2) alargadas. (3) ni plana ni alargada.

9.3.1 Use el dispositivo calibrador proporcional, posicionándolo en la relación correcta, mostrado en la **Fotografía E 7.1.** como sigue:

9.3.1.1 *Ensayo de Partículas Planas.*— Fije la mayor abertura igual al ancho de la partícula. La partícula es plana si el espesor puede pasar en la abertura más pequeña.

9.3.1.2 *Ensayo de Partículas Largas.*— Fije la mayor abertura igual al largo de la partícula. La partícula es alargada si el ancho puede pasar en la abertura más pequeña.

Fotografía E 7.2.

a) Tomamos el largo de la partícula y dejamos fijo el calibrador proporcional.
b) La misma partícula la colocamos en la parte posterior, sin mover el calibrador proporcional, y la clasificamos en Planas, Alargadas y Planas Alargadas.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

9.3.2 Después que las partículas ha sido clasificadas en el grupo descrito en la Sección 9.3, determine la proporción de la muestra en cada grupo ya sea por conteo o por masa, según lo solicitado.

9.4 *Ensayo de Partícula planas y Alargadas.*— Pruebe cada una de las partículas en cada fracción de tamaño y colóquelos en uno de dos grupos: (1) planas y alargadas ó (2) ni planas ni alargadas.

9.4.1 Usar el dispositivo calibrador proporcional, fijando la relación deseada.

9.4.2 *Medida*:

9.4.2.1 Un dispositivo calibrador proporcional similar al dispositivo mostrado en **Fotografía E 7.1**, fije la abertura mas larga igual al largo de la partícula. La partícula es plana y alargada, si la partícula, cuando es orientada para medir su espesor puede atravesar completamente la abertura más pequeña del calibrador.

9.4.3 Después que las partículas han sido clasificadas en los grupos descritos en 9.4, determine la proporción de la muestra en cada grupo ya sea por conteo o masa, según lo solicitado.

10. CALCULOS

10.1 Calcule el porcentaje de partículas planas y alargadas con aproximación de 1% para cada tamaño de tamiz más grande que 9.5 mm (3/8 pulg) ó 4.75 (No. 4), según lo solicitado.

11. REPORTE

11.1 Incluya la siguiente información en el reporte:

11.1.1 Identificación del agregado grueso ensayado, y

11.1.2 Graduación de la muestra del agregado, mostrando el porcentaje retenido en cada tamiz.

11.1.3 Para ensayos de partícula plana y ensayo de partícula alargada:

11.1.3.1 Número de partículas en cada tamaño de tamiz ensayado.

11.1.3.2 Calcule los porcentajes por conteo o por masa, o ambos, para: (1) partículas planas, (2) partículas alargadas, y (3) los totales de partículas planas y partículas alargadas para cada tamaño de tamiz ensayado, y

11.1.3.3 La relación dimensional usada en el ensayo.

11.1.4 Para ensayo de partícula planas y alargadas:

11.1.4.1 Número de partículas en cada tamaño de tamiz ensayado,

11.1.4.2 Calcule los porcentajes por conteo o por masa, ó ambos, para partículas planas y alargadas para cada tamaño de tamiz ensayado,

11.1.4.3 La relación dimensional usada en el ensayo, y

11.1.5 Cuando se requiera, porcentajes de peso promedios basados en las proporciones actuales ó asumidas de los diversos tamaños de tamices ensayados. Reporte la graduación usada para el promedio si difiere de lo mostrado en la sección 11.1.2.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS, PARTICULAS ALARGADAS
Y PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO
(ASTM D 4791)

Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION
Material: AGREGADO GRUESO
Fecha de muestreo: Agosto 2007
Fecha de ensayo: Agosto 2007

Procedencia: Cantera Colima, Carretera a Chalatenango
Muestra No:

Ensayo hecho por:
Masa de partículas
Conteo de partículas

Criterio de planas y alargadas utilizado = 3 en 1
Muestra inicial =

Tamiz No.	% Retenido parcial según granulometría	Cantidad de partículas a ensayarse	Cantidad de particulas planas por fracción	% Partículas planas en la muestra	%Partículas planas en el agregado	Cantidad de partículas largas por fracción	%Partículas largas en la muestra	%Partículas largas en el agregado	Cantidad de partículas planas y alargadas en la fracción	% Partículas planas y largas en la muestra	% de partículas planas y alargadas en el agregado
1 1/2"											
1"											
3/4"	**0.0**										
1/2"	**1.0**										
3/8"	**22.0**	**142.0**	**4**	**2.82**	**0.62**	**0**			**0**		
No. 4	**71.0**	**220.0**	**23**	**10.45**	**7.42**	**0**			**0**		
No. 8	**5.1**										
No. 16	**0.5**										
No. 30	**0.1**										
No. 50	**0.0**										
No. 100	**0.1**										
No. 200	**0.1**										
Pasa No. 200	**0.2**										
Total					**8.04**						

% Total de planas = **8.04%**
% Total de largas =
Total de planas y alargadas =

Observaciones:

Ensayo No. 8.

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADOS POR SULFATO DE SODIO

Basado en norma AASHTO: T 104-99(2003)
Con equivalencia en ASTM: C 88-99a

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir el procedimiento del ensayo de sanidad para agregado fino y grueso.
- Conocer el proceso de preparación de los materiales utilizados en la realización de este ensayo.

2. ALCANCE

2.1 Este método cubre los procedimientos a ser seguidos en ensayos de agregados para determinar su resistencia a la desintegración por soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Esto es hecho por la inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido por secado en horno para una deshidratación parcial o completa de la sal precipitada, en espacios permeables de los poros. La fuerza interna expansiva, derivada de la rehidratación de la sal en la reinmersión, simula la expansión de agua en el congelamiento. Este método de ensayo provee información útil para juzgar la calidad de agregados sujetos a la acción del clima, particularmente cuando la información adecuada no está disponible en un servicio de registros del material expuesto para las condiciones reales de desgaste. Se llama la atención al hecho que los resultados de ensayos por el uso de las dos sales difieren considerablemente y se debe tener cuidado en fijar límites correctos en cualquier especificación que incluya requisitos para estos ensayos.

2.2 Los valores expresados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

2.3 Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar, consultar y establecer prácticas

de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

M 92, Tamices de Tela Metálica para Propósitos de Ensayo

M 231, Dispositivos Utilizados para Pesar Materiales de Ensayo.

R 16, Información Regulatoria para Químicos usados en Ensayos AASHTO

T 27, Análisis por tamices de agregados finos y gruesos

3.2 Normas ASTM:

C 670, Practica para Elaborar Informes de Precisión en Métodos de Ensayo de Materiales de Construcción

E 100, Especificación para Hidrómetros ASTM

4. EQUIPO

4.1 *Tamices.*— Con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños de acuerdo con AASHTO M 92, para tamizado de las muestras de acuerdo con las secciones 5, 6, y 8, como se especifican en la **Tabla E 8.1**

4.2 *Contenedores para muestras.*— Tamices de 203.2 mm (8 pulg) de diámetro para cada fracción separada según el tamaño del agregado durante el ensayo. Tamices fuera de la tolerancia según la especificación AASHTO M 92, en condición aceptable, pueden ser utilizados como contenedores (**NOTA 1**).

4.2.1 *Agregado grueso.*— Tamaño 2.36mm (Nº 8).

4.2.2 *Agregado fino.*— Tamaño 250 µm (Nº 60).

NOTA 1- Tamices de 203.2 mm (8 pulg) de diámetro pueden ser sustituidos por contenedores que permitan acceso libre de solución a la muestra y drenar la solución de la muestra sin pérdida de agregado. La sustitución con tales contenedores puede afectar los resultados. Ensayos de referencia, ensayos de comparación, o ensayos de agregados a ser utilizados en aplicaciones críticas deben ser realizados usando tamices de 203.2 mm (8 pulg) de diámetro.

Tabla E 8.1 **Tamices que serán utilizados en este ensayo.**

TAMICES PARA AGREGADO GRUESO Y FINO		TAMICES PARA AGREGADO GRUESO	
4.75 mm	(No. 4)	63 mm	(2 ½ pulg)
4.00 mm	(No. 5)	50 mm	(2 pulg)
2.36 mm	(No. 8)	37.5 mm	(1 ½ pulg)
1.18 mm	(No. 16)	31.5 mm	(1 ¼ pulg)
600 µm	(No. 30)	25.0 mm	(1 pulg)
300 µm	(No. 50)	19.0 mm	(3/4 pulg)
150 µm	(No. 100)	16.0 mm	(5/8 pulg)
		12.5 mm	(1/2 pulg)
		9.5 mm	(3/8 pulg)
		8.0 mm	(5/16 pulg)

4.3 *Equipo para Sumergir muestras en soluciones (opcional).*— Cuando sea necesario, el equipo para retener los tamices conteniendo la muestra por inmersión en solución, se construirán de tal modo que permitan el libre acceso de la solución a la muestra y drene la solución de la muestra.

4.4 *Regulación de temperatura.*— Se proveerá la manera adecuada para regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

4.5 *Termómetro.*— Un termómetro que abarque el rango de temperatura recomendado para soluciones durante el ensayo y con una escala de 0.1 ° C (0.2 ° F).

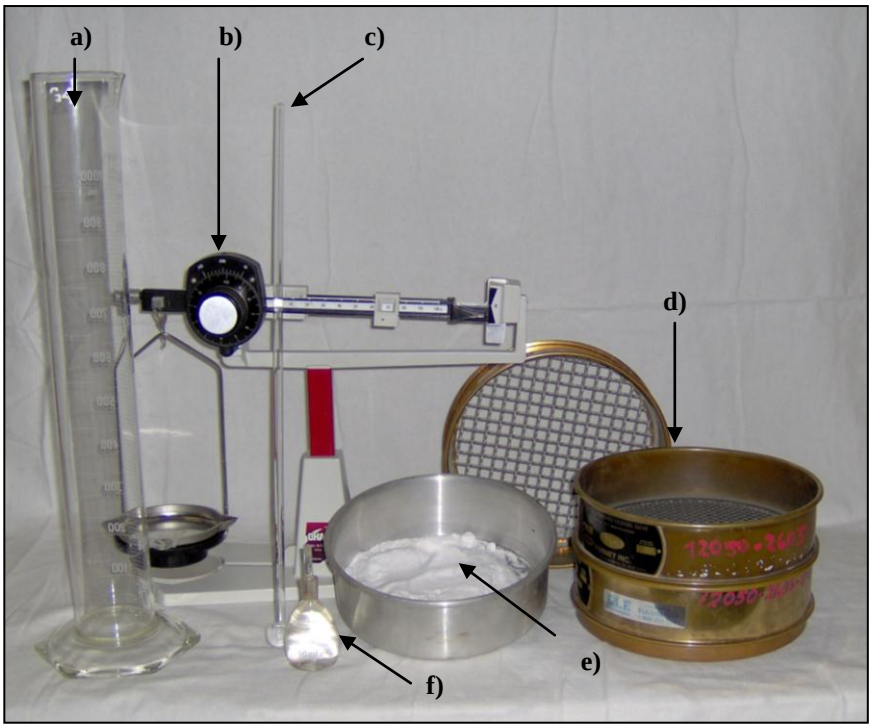
4.6 *Registrador de temperatura.*— Una unidad capaz de registrar la temperatura de la solución un mínimo de una vez cada 10 minutos durante el ensayo con una exactitud de 0.3 ° C (0.5 ° F).

4.7 *Balanza.*— La balanza tendrá suficiente capacidad, para leer al 0.1 por ciento de la masa de la muestra, mayor precisión, y estará de acuerdo a los requisitos de la especificación AASHTO M 231 (ver **Fotografía E 3.2**, del ensayo No. 3 Pág. 72).

4.8 *Horno para secar.*— El horno será capaz de calentarse continuamente a 110 ° ± 5 ° C (230 ° ± 9 ° F) y la razón de evaporación, en este rango de temperatura, será de por lo menos 25 g/h por 4 horas, mientras las puertas del horno se mantengan cerradas.

Esta razón será determinada por la pérdida de agua de un litro Griffin bajo la forma de beakers, cada uno conteniendo inicialmente 500 g de agua a una temperatura de 21 ° ± 2 ° C (70 ° ± 3 ° F), ubicados en cada esquina y en el centro de cada estante del horno. El requisito de evaporación se aplica para todos los lugares de ensayos cuando el horno está vacío excepto por los beakers con agua.

4.9 *Medición de gravedad específica.*— Picnometros conforme a los requisitos de ASTM E 100, o una combinación adecuada de cristalería graduada y balanzas, capaces de medir la gravedad específica de la solución dentro de ± 0.001.



Fotografía E 8.1.

a) Probeta para medir la cantidad de agua a utilizar en la solución.
b) Balanza con precisión de 0.01g para pesar el hidrómetro sin o con solución.
c) Paleta para mezclar el sulfato de sodio y el agua.
d) Tamices para el ensayo.
e) Sulfato de sodio.
f) Hidrómetro.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

5. PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO

5.1 Preparar la solución para sumergir las muestras de ensayo, ya sea de sulfato de sodio o de magnesio de acuerdo con la sección 5.1.1 o 5.1.2 (**NOTA 2**). El volumen de la solución será como mínimo cinco veces el volumen sólido de todas las muestras sumergidas de una sola vez.

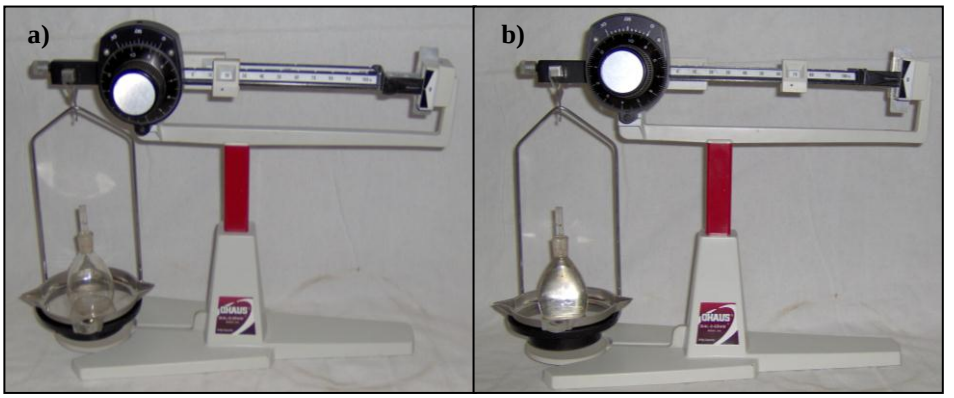
NOTA 2 - Algunos agregados conteniendo carbonato de calcio o de magnesio son atacados químicamente por soluciones recién preparadas de sulfato, resultando erróneamente en pérdidas altas. Si esta condición es encontrada o se sospecha, repita el ensayo usando una solución filtrada que haya sido usada previamente para ensayar el mismo tipo de roca carbonatada, con tal que la solución reúna los requerimientos para gravedad específica de las secciones 5.1.1 y 5.1.2.

5.1.1 *Solución de sulfato de sodio.*— Preparar una solución saturada de sulfato de sodio disolviendo sal de grado reactivo en agua (**NOTA 5**) a una temperatura mínima de 25 ° C (77 ° F). Añadir suficiente sal (**NOTA 3**) de forma anhidrida (Na_2SO_4) para asegurar no sólo la saturación sino también la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para utilizarse en los ensayos. Revolver bastante la mezcla durante la adición de la sal y revolver la solución a intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, conservar la solución cubierta todo el tiempo que no sea necesario su uso. Permitir que la solución se mantenga entre 20.3 a 21.9 ° C (68.5 a 71.5 ° F). Revolver otra vez, y mantener la solución a la temperatura designada por un mínimo de 48 horas antes de su uso. Antes de cada uso, rompa la sal endurecida, si hay, en el contenedor, revuelva la solución suficientemente, y determine la gravedad específica (ver **Fotografía E 8.2**). Al momento de utilizarse, la solución no tendrá una gravedad específica menor de 1.154 y no más de 1.171. Descartar una solución descolorida, o filtrarla y verificar la gravedad específica.

NOTA 3 - Para la solución, 215 g de sal anhidrida por litro de agua será suficiente para la saturación a 22°C (71.6 ° F). Sin embargo, puesto que esta sal no es completamente estable y que es deseable un exceso de cristales, el uso de no menos de 225 g de la sal anhidrida por litro de agua es recomendado.

5.1.2 *Solución de sulfato de magnesio.*— Preparar una solución saturada de sulfato de magnesio disolviendo sal de grado reactivo en agua (**NOTA 5**) a una temperatura mínima de 25 ° C (77 ° F) (**NOTA 4**). Añadir suficiente sal (**NOTA 4**) ya sea de forma anhidrida

($MgSO_4$) o cristalina ($MgSO_4$-$7H_2O$) (sal Epsom), para asegurar la saturación y la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para usarse en los ensayos. Revolver bastante la mezcla durante la adición de la sal y revolver la solución a intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, conservar la solución cubierta en todo el tiempo que no sea necesario su uso. Permitir que la solución se mantenga entre 20.3 a 21.9 ° C (68.5 a 71.5 ° F). Revolver otra vez, y permitir que la solución se mantenga a la temperatura designada por un mínimo de 48 horas antes de su uso. Antes de cada uso, romper la sal endurecida, si hay, en el contenedor, agitar la solución bastante, y determinar la gravedad específica de la solución. Al momento de utilizarse, la solución no tendrá una gravedad específica menor de 1.297 y no más de 1.306. Descartar una solución descolorida, o filtrarla y verifique la gravedad específica.



Fotografía E 8.2.

a) Pesado del picnómetro sin solución.
b) Pesado del picnómetro con solución.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 4 – Para la solución, 350 g de anhídrido de sal o 1230 g de heptahidrato por litro de agua son suficientes para la saturación a 23 ° C (73.4 ° F). Sin embargo, puesto que estas sales no son completamente estables, siendo la sal hidratada la más estable de las dos, y que es deseable un exceso de cristales, es recomendado que el heptahidrato de sal sea usado y en una cantidad no menor de 1400 g/L de agua. Cuando se este preparando la solución saturada de sulfato de magnesio, los cristales de sal se disolverán fácilmente si son agregados en pequeñas cantidades y la temperatura del agua es mayor de 35 ° C (95 ° F) debido al efecto químico de enfriamiento durante la preparación.

NOTA 5 – Agua destilada será usada en ensayos de referencia o comparación.

5.2 *Solución de cloruro de bario.*— Una solución 0.2 molar de cloruro de bario (41.6 g de $BaCl_2$ por litro de solución) para determinar la presencia de sulfato de sodio o magnesio en el agua de lavado.

6. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

6.1 *Agregado fino.*— el agregado fino será pasado a través de un tamiz de 9.5-mm (3/8 pulg). La muestra será de tal tamaño que no producirá menos de 100 g de cada uno de los siguientes tamaños, expresada en términos de los tamices de la **Tabla E 8.2**.

Tabla E 8.2. **Tamices utilizados para agregado fino**

Tamiz que pasa	Tamiz en que se retiene
9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (Nº 4)
4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)
2.36 mm (Nº 8)	1.18 mm (Nº 16)
1.18 mm (Nº 16)	600 µm (Nº 30)
600 µm (Nº 30)	300 µm (Nº 50)

6.1.1 Si la muestra tuviera menos del 5 por ciento de los tamaños especificados en la sección 6.1, esos tamaños no serán ensayados.

6.2 *Agregado grueso.*— El agregado grueso para el ensayo consistirá de material en el cual los tamaños más finos que un tamiz de 4.75-mm (No. 4) hayan sido removidos. La muestra será de tal tamaño que tendrá las cantidades indicadas en la **Tabla E 8.3**.

6.2.1 Cuando la muestra contenga menos del cinco por ciento de cualquiera de los tamaños especificados en la sección 5.2, ese tamaño no será ensayado. Cuando una combinación de tamaños es especificado para la porción de ensayo y uno de los tamaños especificados es menor que el cinco por ciento de la muestra, reducir la porción de ensayo por la masa aplicable especificada en la sección 5.2 para el tamaño disponible.

6.2.2 Al ensayar rocas grandes (piedra quebrada, lecho rocoso, cantos rodados, y rocas grandes redondas para utilizarse en revestimientos con roca, revestimiento de canales, etc.), obtener la porción de ensayo por trituración, división, o cortando con sierra las

piezas más grandes de la muestra. Ensayar sólo las piezas en las fracciones de tamaño entre los tamices de 37.5 a 19.0 mm (l ½ a ¾ pulg) y de 63 a 37.5 mm (2 ½ a l ½ pulg) cuando la reducción de los tamaños es por trituración o división. Ensayar las piezas en las fracciones de tamaños que se encuentren entre los tamices de 63 a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ pulg) cuando la reducción de los tamaños se realiza cortando con sierra.

Tabla E 8.3 — **Tamaños de muestras para agregado grueso según los tamices donde quedan retenidos.**

Tamaño, pulg (tamices de abertura cuadrada)	Masa, g
a) 3/8" a No 4	300 ± 5
b) 3/4" a 3/8"	1000 ± 10
Consistente en:	
b.1) 3/4" a 1/2"	670 ± 10
b.2) 1/2" a 3/8"	330 ± 5
c) 1 1/2" a 3/4"	1500 ± 50
Consistente en:	
c.1) 1 1/2" a 1"	1000 ± 50
c.2) 1" a 3/4"	500 ± 30
d) 2 1/2" a 1 ½"	5000 ± 300
Consistente en:	
d.1) 2 1/2"a 2"	3000 ± 300
d.2) 2" a 1 1/2"	2000 ± 200

NOTA 6 — Cuando la roca contiene planos de estratificación, triturados o divididos usualmente causarán que la roca se rompa en esos planos de estratificación. El aserrado usualmente dejará que el plano de estratificación quede intacto, y así es más probable dividir las partículas debido al crecimiento de los cristales de sal en el ensayo de sanidad.

6.2.3 Al ensayar rocas grandes (para evaluar una fuente potencial) que será triturada para producir agregado, obtener la porción de ensayo triturando las piezas de la muestra más grandes. Ensayar piezas sólo en los tamaños que serán incluidos en el agregado producido, pero haciendo caso omiso de cualquier material más fino que el tamiz de 4.75-mm (No. 4) o más grueso que el tamiz de 63-mm (2 ½ pulg).

6.2.4 Cuando el material del agregado terminado contenga partículas más gruesas de 63 mm (2 ½ pulg), como el agregado a utilizarse en concreto masivo, triturar el material más grueso de 63 mm (2 ½ pulg) y distribuir el material entre el rango de tamices de 63-mm (2 ½ pulg) a 4.75-mm (No. 4). Descartar el material más fino que el tamiz de 4.75-mm (No. 4).

6.3 Cuando un agregado a ser ensayado contenga cantidades apreciables de ambos materiales fino y grueso, teniendo una graduación con más de 10 por ciento más grueso que el tamiz de 9.5-mm (3/8 pulg) y, también, más de 10 por ciento más fino que el tamiz de 4.75-mm (No. 4), ensayar las muestras menores que la fracción de 4.75 mm (No. 4) y las fracciones mayores de 4.75 mm (No. 4) separadas de acuerdo con los procedimientos para agregado fino y agregado grueso, respectivamente. Reportar los resultados separadamente para la fracción fina del agregado y la fracción gruesa del agregado, dando los porcentajes de los tamaños de las fracciones gruesas y finas en la graduación inicial.

7. PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYOS

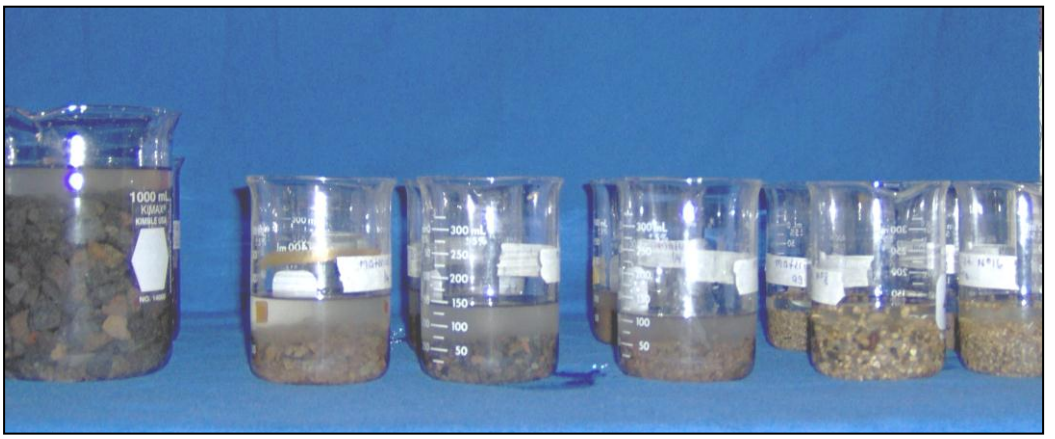
7.1 *Agregado Fino*.— Lavar totalmente la muestra de agregado fino en un tamiz de 300-µm (No. 50), secar hasta alcanzar una masa constante a una temperatura de 110 ° ± 5 ° C (230 ° ± 9 ° F), y separar en los diferentes tamaños por tamizado, como sigue: hacer una separación rápida de la muestra clasificada por medio de un grupo de tamices estándar especificados en la sección 6.1. De las fracciones obtenidas de esta manera, seleccionar muestras de suficiente tamaño para producir unos 100 g después de tamizarlas lo suficiente. (En general, una muestra de 110-g será suficiente.). No usar agregado fino que se pegue en las mallas de los tamices para preparar las muestras. Pesar muestras consistentes en 100 ± 0.1 g de cada una de las fracciones separadas después del tamizado final, registrar las masas de las muestras de ensayo, y colocar en contenedores separados para el ensayo.

7.2 *Agregado Grueso.*— Lavarla totalmente y secar la muestra de agregado grueso hasta alcanzar una masa constante a una temperatura de 110 ° ± 5 ° C (230 ° ± 9 ° F) y separarla en los diferentes tamaños mostrados en la sección 6.2 tamizándolas lo suficiente. Pesar las cantidades de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias de la sección 6.2 y combinarlas para la masa total designada (**NOTA 7**). Registrar las masas de las muestras de ensayos y sus fracciones componentes. En el caso de tamaños más grandes que 19.0 mm (3/4 pulg), registrar el número de partículas en las muestras de ensayos.

NOTA 7 - Las fracciones componentes de cada muestra pueden ser colocadas en recipientes separados si así se desea, pero no es requerido. Si son usados contenedores separados, los dos tamaños pueden ser combinados para los cálculos en la sección 8.1.2. (Tabla E 8.4).

8. PROCEDIMIENTO

8.1 *Almacenaje de muestras en solución.*— Sumergir las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio (ver **Fotografía E 8.3**) o sulfato de magnesio por no menos de 16 horas y no más de 18 horas de tal manera que la solución cubra una profundidad de al menos 12.5 mm (1/2 pulg) (**NOTA 8**). Cubrir los contenedores para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas. Mantener la muestra sumergida en la solución a una temperatura de 20.3 a 21.9 ° C (68.5 a 71.5 ° F) para el período de inmersión.



Fotografía E 8.3. **Muestras de agregados en saturación para ensayo de sanidad por sulfato de sodio.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 8 — Tamices de alambre de un peso adecuado, colocadas encima de la muestra en los contenedores permitirá que se logre cobertura con muchos agregados de peso ligero.

8.2 *Secado de muestras después de ser sumergidas.*— Después del período de inmersión, remover la muestra de agregado de la solución, permitir el drenaje por 15 ± 5 minutos (ver **Fotografía E 8.4**), y colocarla en el horno secador. La temperatura del horno será puesta previamente a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Secar las muestras a la temperatura especificada hasta obtener una masa constante. Establecer el tiempo requerido para lograr una masa constante como sigue: Con el horno conteniendo la máxima carga de muestra esperada, comprobar la pérdida de masa de las muestras de ensayo removiéndolas y pesándolas sin enfriar, a intervalos de dos a cuatro horas; hacer suficientes chequeos para establecer el tiempo de secado requerido cuando se encuentren en una mínima condición favorable el horno (Sección 3.6) y la muestra (**NOTA 9**). Se considerará que una masa constante es lograda cuando la pérdida de masa es menor de 0.1 por ciento de masa de la muestra en cuatro horas de secado. Después de que la masa constante haya sido lograda, permitir que la muestra se mantenga de 20 a 25 ° C (68 a 77 ° F) (**NOTA 10**), cuándo sean sumergidas otra vez en la solución preparada como se describe en la sección 8.1. El enfriamiento puede ser ayudado por el uso de un aire acondicionado o un abanico. La temperatura del material será comprobada por termómetro u otro medio aceptable antes de colocar el material en la solución de remojo.

NOTA 9 - El tiempo de secado requerido para alcanzar una masa constante puede variar considerablemente por diversas razones. La eficiencia de secado será reducida mientras los ciclos se acumulen debido a la sal que se pega a las partículas y, en algunos casos, por el incremento en área superficial debido al rompimiento. Las fracciones de diferente tamaño de agregado tendrán tasas de secado diferentes. Los tamaños más pequeños tendrán una tendencia a secar más lenta por su mayor área superficial y vacíos restringidos interpartícula, pero esta tendencia puede ser alterada por los efectos del tamaño del contenedor y la forma.

NOTA 10 - La experiencia ha mostrado que temperaturas de la muestra significativamente diferentes que la temperatura de la solución de 21.1 ° C (70.0 ° F) puede cambiar la temperatura de la solución temporalmente, y por consiguiente causar un cambio en la saturación de sal aunque la solución regrese a 21.1 ° C (70.0 ° F) para la mayor parte del período de remojo. Esto puede causar resultados erróneos.

8.3 *Número de ciclos.*— Repetir el proceso alterno de inmersión y secado hasta obtener el número de ciclos requeridos. Preferentemente, el ensayo será realizado continuamente hasta que el número especificado de ciclos sea obtenido. Sin embargo, si el ensayo debe

ser interrumpido, entonces deje las muestras en el horno, a 110 ° ± 5 ° C (230 ° ± 9 ° F) hasta que el ensayo pueda ser reanudado.

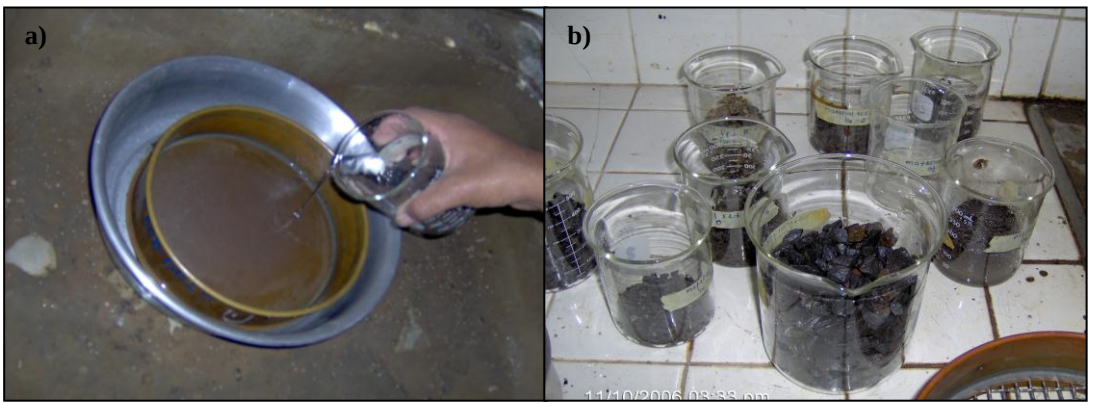
8.4 Revisar el registro de temperatura de la unidad de registro. Verificar si los límites de la temperatura de la solución no fueron excedidos.

9. EXAMEN CUANTITATIVO

9.1 Hacer el examen cuantitativo como sigue:

9.1.1 Después de que termina el ciclo final y después de que la muestra se ha enfriado, lavar la muestra libre de sulfato de sodio o sulfato de magnesio (ver **Fotografía E 8.4.b)**).

9.1.2 El lavado debe efectuarse con agua circulante continua a 43º ± 6 ºC (110º ± 10 ºF) a través de las muestras en sus recipientes introduciéndolas en agua caliente cerca del fondo y permitiendo que el agua atraviese la muestra y se derrame. La efectividad de lavado será comprobada obteniendo una muestra de agua de enjuague después que ha atravesado las muestras y comprobado con cloruro de bario 0.2 molar. Un lavado adicional es requerido si la muestra se ve borrosa con la adición de solución de cloruro de bario. En áreas dónde el agua haga reacción con cloruro de bario otra forma analítica se usará para asegurar la efectividad del lavado. En la operación de lavado, la muestra no estará sujeta a impacto o abrasión, ya que puede tender a romper partículas.



Fotografía E 8.4. **a) Agregado durante el lavado y b) agregado después del lavado.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

9.1.2 Después que el sulfato de sodio o sulfato de magnesio ha sido removido, secar cada fracción de la muestra hasta alcanzar una masa constante a 110 ° ± 5 ° C (230 ° ± 9 ° F). Tamizar el agregado fino sobre el mismo tamiz en el cual fue retenido antes del ensayo, y tamizar el agregado grueso sobre el tamiz mostrado abajo para el tamaño apropiado de partícula (ver **Tabla E 8.4**). Para el agregado fino, el método y la duración del tamizado serán los mismos que fueron usados en la preparación de la muestra de ensayo. Para agregado grueso, el tamizado será a mano, con agitación suficiente sólo para asegurar que todo material de tamaño inferior pasa el tamiz designado. No debe haber extremada manipulación para romper las partículas u obligarlas a que ellas pasen los tamices. Determinar la masa del material retenido en cada tamiz y registrar su cantidad. La diferencia entre cada una de estas cantidades y la masa inicial de la fracción de la muestra ensayada es la pérdida en el ensayo y debe estar expresada como un porcentaje de la masa inicial para el uso en la **Tabla E 8.5**.

Tabla E 8.4. **Tamices con los que se debe encontrar la pérdida de agregado grueso.**

Tamaño de agregado	Tamiz usado para determinar perdidas
2,4803 in a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ pulg)	31.5 mm (1 ¼ pulg)
37.5 mm a 19.0 mm (1 ½ a 3/4 pulg)	16.0 mm (5/8 pulg)
19.0 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 pulg)	8.0 mm (5/16 pulg)
9.5 mm a 4.75 mm (3/8" a Nº 4)	4.0 mm (Nº 5)

Tabla E 8.5 **Forma sugerida de registrar datos de ensayo (con valores de ensayo ilustrativos)**

Tamañ de tamiz				Graduación de muestra original, porcentaje	Masa de ensayo fracciones antes de ensayo, g	Porcentaje que pasa el tamiz designado después del ensayo	Porcentaje de peso perdido
				Ensayo de sanidad de agregado fino			
Menor que 150µm				5			
300 µm a 150 µm				12			
600 µm a 300 µm				26	100	4.2	1.1
1.18mm a 600 µm				25	100	4.8	1.2
2.36mm a 1.18mm				17	100	8.0	1.4
4.75mm a 2.36mm				11	100	11.2	1.2
9.5 mm a 4.75mm				4		11.2[a]	0.4
Totales				**100**			**5**
				Ensayo de sanidad de agregado grueso			
63 mm a 50 mm	282 g	}	63 mm a 37.5mm	20	4783	4.8	1.0
50 mm a 37.5mm	1958 g						
37.5mm a 25.0mm	1012 g	}	37.5mm a 19.0mm	45	1525	8.0	3.6
25.0mm a 19.0mm	513 g						
19.0mm a 12.5mm	675 g	}	19.0mm a 9.5 mm	23	1008	9.6	2.2
12.5mm a 9.5 mm	333 g						
9.5 mm a 4.75mm				12	298	11.2	1.3
Totales			**100**			**8**	

[a] El porcentaje de pérdida (11.2 por ciento) del siguiente tamaño más pequeño es utilizada como la pérdida porcentual para este tamaño, puesto que este tamaño contiene menos de cinco por ciento de la muestra original según lo recibido. Ver Sección 11.1.3.4.

10. EXAMEN CUALITATIVO

10.1 Hacer un examen cualitativo de muestras de ensayos más gruesas de 19.0 mm (3/4 pulg) como sigue (**NOTA 11**):

10.1.1 Separar las partículas de cada muestra de ensayo en los grupos de acuerdo a la acción producida por el ensayo (**NOTA 11**).

10.1.2 Registrar el número de partículas mostrando cada tipo de daño.

NOTA 11 - Muchos tipos de acciones pueden ser esperadas. En general, estas pueden ser clasificadas como desintegración, partición, exfoliación, agrietamiento, descascaramiento, etc. Mientras que se requiere el examen cualitativo sólo a las partículas de tamaño mayor que 19.0 mm (3/4 pulg), es recomendable que el examen de los tamaños más pequeños sea hecho para determinar si hay evidencia de rupturas excesivas.

11.0 REPORTE

11.1 El reporte incluirá los siguientes datos (**NOTA 12**):

11.1.1La masa de cada fracción de cada muestra antes del ensayo.

11.1.2 El material de cada fracción de la muestra más fino que el tamiz designado en la sección 9.1.2 por tamizado después del ensayo, expresado como un porcentaje de la masa original de la fracción.

11.1.3 El peso promedio calculado del porcentaje de pérdida de cada fracción, basado en la graduación de la muestra según como fue recibida, determinado por el ensayo según el método AASHTO T 27 o, preferentemente, en la graduación promedio del material de la porción suministrada de la cual la muestra es representativa excepto que:

11.1.3.1 Para agregados finos con menos de 10 por ciento más grueso que el tamiz de 9.5-mm (3/8 pulg), asumir tamaños más finos que el tamiz de 300-µm (No. 50) para tener cero porcentaje de pérdida y tamaños más grueso que el tamiz de 9.5-mm (3/8 pulg) para tener la misma pérdida como el siguiente tamaño más pequeño para el cual los datos de ensayo están disponibles.

11.1.3.2 Para agregado grueso con menos de 10 por ciento más fino que el tamiz de 4.75-mm (No. 4), asumir tamaños más finos que el tamiz de 4.75-mm (No. 4) para tener la misma pérdida como el siguiente tamaño más grande para el cual los datos de ensayo están disponibles.

11.1.3.3 Para un agregado conteniendo cantidades apreciables de ambos materiales grueso y fino ensayarlos como dos muestras separadas como lo requiere la sección 6.3, calcular las pérdidas de peso promedio separadamente para las fracciones menores de 4.75-mm (No. 4) y mayores que 4.75-mm (No. 4) basado en graduaciones recalculadas considerando la fracción fina como 100 por ciento y la fracción gruesa como 100 por ciento. Reportar los resultados dando separadamente el porcentaje de material menor de 4.75-mm (No. 4) y mayor de 4.75-mm (No. 4) en la graduación inicial.

11.1.3.4 Con el objeto de calcular el peso promedio, considerar cualquiera de los tamaños en la sección 6.1 o 6.2 que contiene menos de cinco por ciento de la muestra para tener la misma pérdida como el promedio del siguiente tamaño menor y el siguiente tamaño mayor, o si uno de estos tamaños falta, que tenga la misma pérdida que el siguiente tamaño mayor o el siguiente tamaño menor, cualquiera que este presente.

11.1.3.5 Para rocas grandes ensayadas según la sección 6.2.2. el peso promedio (si más de una fracción en tamaño es ensayada) será la media aritmética de la pérdida en las fracciones ensayadas.

11.1.3.6 Para rocas grandes ensayadas según las secciones 6.2.3. o 6.2.4, el promedio pesado estará basado en una muestra graduada conforme al centro de la especificación para la cual el agregado será producido, o la graduación actual según lo producido. Si la graduación especificada incluye fracciones más grandes que el tamiz de 63-mm (2 ½ pulg), asumir que tales tamaños tienen la misma pérdida porcentual como la fracción de 63 mm a 37.5 mm (2 ½- a 1/2 pulg).

11.1.4 Reportar la pérdida porcentual pesada para el número entero próximo.

11.1.5 En el caso de partículas más gruesas de 19.0 mm (3/4 pulg) antes de la ensayo: (1) el número de partículas en cada fracción antes de la ensayo, y (2) el número de partículas afectadas, clasificadas como el número desintegradas, partidas, exfoliadas, agrietadas, descascaradas, etc., como se muestra en la **Tabla E 8.6.**

Tabla E 8.6. **Forma sugerida para examen cualitativo (con valores de ensayo ilustrativos)**

Examen cualitativo de tamaños gruesos									
Tamaño de tamiz	Detalles exhibidos de partículas								No. Total de partículas antes del ensayo
	Partidas		exfoliadas		agrietadas		descascaradas		
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
63mm a 37.5mm	2	7	—	—	2	7	—	—	29
37.5mm a 19.0mm	5	—	—	2	—	—	—	—	50

11.1.6 El tipo de solución (el sodio o el sulfato de magnesio) y si la solución estaba recién preparada o previamente usada.

11.1.7 Método de producción de partículas para el ensayo, cuándo son reducidas de piezas grandes como se describe en las secciones 6.2.2., 6.2.3. o 6.2.4.

NOTA 12 - La Tabla E 8.4, muestra valores de ensayo insertados para propósitos de ilustración, es una forma recomendada para registrar datos de ensayo. Los valores de ensayos mostrados podrían ser apropiados para cualquier sal, dependiendo de la calidad del agregado.

12. CÁLCULOS

12.1 Después del tamizado cuando se ha finalizado el ensayo se deben pesar las partículas retenidas en su tamiz respectivo, siendo este peso W_{final}.

12.2 Luego se harán los cálculos como se describe a continuación:

12.2.1 Calcular el porcentaje de pérdidas con la formula siguiente:

$$\%\ \text{de perdida parcial} = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100\%$$

12.2.2 Para calcular el porcentaje en la graduación total se multiplican el porcentaje de perdida por el porcentaje retenido parcial en la graduación original.

$$\%\,\text{perdida} = \frac{\%\,\text{retenido parcial} \times \%\,\text{de perdida parcial}}{100}$$

13. PRECISIÓN

13.1 Para agregado grueso con pérdida de peso promedio de sanidad de sulfato en los rangos de 6 a 16 por ciento para sodio y 9 a 20 por ciento para magnesio, los índices de precisión son indicados, en la tabla E 8.7 (**NOTA 13**).

Tabla E 8.7 **Índices de precisión**

	Coeficiente de Variación (1S%), Porcentual [a]	**Diferencia entre dos Ensayos (DS2%), porcentaje promedio** [a]
Multilaboratorio:		
Sulfato de sodio	41	116
Sulfato de magnesio	25	71
Operador individual:		
Sulfato de sodio	24	68
Sulfato de magnesio	11	31

[a] Estos números representan, respectivamente, los límites (1S%) y (D2S%) son descritos en ASTM C 670

NOTA 13 - Los valores en el informe de precisión están basados en ensayos según este método antes de revisión en 1991. Las revisiones en 1991 mejoran la precisión del método.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADOS
(AASHTO T 104)

Proyecto: Trabajo de Graduación **Fecha de muestreo:** Agosto 2007
Material: **Arena** **Fecha de ensayo:** Agosto 2007
Procedencia de la muestra: Aguilares **Muestra No.** 1

Tamaño de tiz		%Retenido parcial	Peso por fracción antes de ensayo (g)	Peso por fracción después de ensayo (g)	% perdida en fracción	% perdida en muestra original
Pasa	Retiene					
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	0.00				
3/8"	No. 4	0.72				
Totales						

Análisis cualitativo de agregado grueso (mayor de 3/4")						
Tamaño de tiz		No. De partículas Antes de la prueba	Partículas exhibiendo daños			
			Partidas	Desmenuzadas	Agrietadas	Descascaradas
2 1/2"	1 1/2"					
1 1/2"	3/4"					

Agregado Fino						
3/8"	No. 4	0.72				
No.4	No.8	9.60	100	92.00	8.00	0.77
No.8	No.16	15.95	100	90.30	9.70	1.55
No.16	No.30	18.61	100	92.60	7.40	1.38
No.30	No.50	24.09	100	95.90	4.10	0.99
Pasa la No. 50		31.02				
					Total =	4.68

Observaciones: _____

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE SANIDAD
(AASHTO T 104)

Proyecto: Trabajo de Graduación **Fecha de muestreo:** Agosto 2007
Material: **Agregado Inter. 1/4" -0** **Fecha de ensayo:** Agosto 2007
Procedencia de la muestra: Cant. Colima **Muestra No.** 2

Tamaño de tamiz		% Retenido parcial	Peso por fracción antes de ensayo (g)	Peso por fracción después de ensayo (g)	% perdida en fracción	% perdida en muestra original
Pasa	Retiene					
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	0.00				
1/2"	3/8"	0.00				
3/8"	No. 4	8.29	100	87.9	12.1	1.00
Totales						

Análisis cualitativo de agregado grueso (mayor de 3/4")						
Tamaño de tamiz		No. De partículas	Partículas exhibiendo daños			
		Antes de la prueba	Partidas	Desmenuzadas	Agrietadas	Descascaradas
2 1/2"	1 1/2"					
1 1/2"	3/4"					

Agregado Fino						
3/8"	No. 4	8.29	100	87.9	12.1	1.00
No.4	No.8	36.47	100	92.00	8.00	2.92
No.8	No.16	20.66	100	90.30	9.70	2.00
No.16	No.30	9.42	100	92.60	7.40	0.70
No.30	No.50	6.08	100	95.90	4.10	0.25
Pasa la No. 50		19.07				
					Total =	6.87

Observaciones:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADOS (AASHTO T 104)

Proyecto: Trabajo de Graduación **Fecha de muestreo:** Agosto 2007
Material: **Agregado G. 1/2"-1/4"** **Fecha de ensayo:** Agosto 2007
Procedencia de la muestra: C. Colima **Muestra No.** 3

Tamaño de tamiz		% Retenido parcial	Masa por fracción antes de ensayo (g)	Masa por fracción después de ensayo (g)	% perdida en fracción	% perdida en muestra original
Pasa	Retiene					
2 1/2"	2"					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1.0				
1/2"	3/8"	22.0	999.7	996.3	0.34	0.07
3/8"	No. 4	71.0	300.0	299.0	0.33	0.24
Totales						0.31

Análisis cualitativo de agregado grueso (mayor de 3/4")						
Tamaño de tamiz		No. De partículas Antes de la prueba	Partículas exhibiendo daños			
			Partidas	Desmenuzadas	Agrietadas	Descascaradas
2 1/2"	1 1/2"					
1 1/2"	3/4"					

Agregado Fino						
3/8"	No. 4	71.0				0.00
No.4	No.8	5.1	100	98.20	1.8	0.09
No.8	No.16	0.5				0.00
No.16	No.30	0.1				0.00
No.30	No.50	0.0				0.00
Pasa la No. 50		0.4				
					Total =	0.40

Observaciones: _____

Ensayo No. 9.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

Basado en norma AASHTO: T 84 - 00
Con equivalencia en ASTM: C 128 - 97

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Determinar la Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino
- Aplicando los procedimientos establecidos en este ensayo.

2. ALCANCE

2.1 Este ensayo cubre la determinación de la gravedad específica bulk y aparente, 23/23°C (73.4/73.4°F), y la absorción del agregado fino.

2.2 Este ensayo determina (después de 15 horas en agua) la gravedad específica bulk y gravedad específica aparente como se define en la M 132, la gravedad especifica bulk esta basada en el peso del agregado saturado superficialmente seco, y la absorción como se define en la M 132.

2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

2.4 Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien use este estándar, consultar y establecer prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS.

3.1 Normas AASHTO:

M 132, Términos Relacionados a Densidad y Gravedad Específica de Sólidos,
Líquidos y Gases.

M 231, Dispositivos para Pesado Usados en los Ensayos de Materiales.

R 1, Uso del Sistema Internacional de Unidades.

T 2, Muestreo de Agregados

T 19/T 19 M, Densidad Bulk (el peso unitario) y Vacíos en los Agregados

T 85, Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Grueso

T 133 Densidad del Cemento Hidráulico

T 248, Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

T 255, Contenido de humedad Total del Agregado por Secado.

3.2 Normas ASTM:

C 125, Terminología Relacionada a concreto y Agregados para Concreto.

C 670, Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1 La gravedad específica bulk es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diversas mezclas incluyendo el concreto de cemento Portlan, concreto bituminoso, y otras mezclas que están dosificadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La gravedad específica bulk es también usada en el cálculo de los vacíos entre los agregados AASHTO T 19/T 19M. La gravedad especifica bulk determinada en la condición saturada superficialmente seca (SSS), básicamente es usada si el agregado esta húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. Inversamente, la gravedad específica bula determinada secando la muestra en el horno sirve para cálculos cuando el agregado está seco o asumido por estar seco.

4.2 La gravedad específica aparente incide en la densidad relativa del material sólido formando las partículas constituyentes no incluyendo el espacio del poro dentro de las partículas que son accesible para el agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología del agregado para la construcción.

4.3 Los valores de absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en el espacio de los poro dentro de las partículas

constituyentes, comparado para la condición seca, cuando se estima que el agregado ha estado en contacto con el agua el periodo suficiente hasta satisfacer la mayor parte del potencial de absorción. El procedimiento de laboratorio para la absorción es obtenida después de sumergir el agregado seco en agua por aproximadamente 15 horas. Los agregados extraídos debajo de la capa freática pueden tener una absorción mayor cuando son usados, en el caso de no realizar el secado. Inversamente, algunos agregados cuando son empleados pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión de 15 horas prescrita. Para un agregado que ha estado en contacto con agua y tiene la humedad libre en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre puede ser determinada deduciendo la absorción del contenido total de humedad determinada por la AASHTO T 255 por secado.

5. EQUIPO

5.1 *Balanza.*— *C*onforme a los requerimientos de AASHTO M 231, categoría G2.

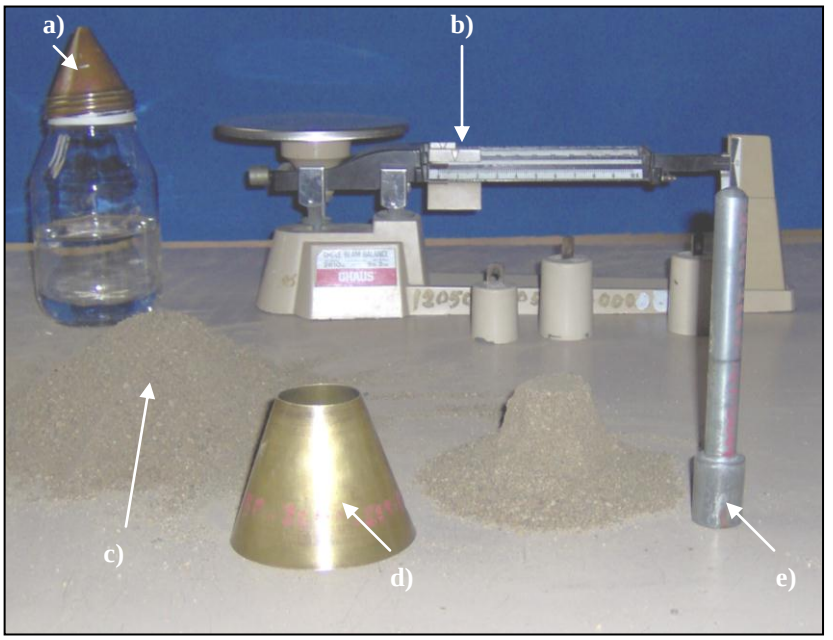
5.2 *Picnómetro.*— Un frasco u otro envase adecuado en el cual la muestra de agregado fino a ensayar puede introducirse fácilmente y en donde el contenido de volumen puede ser reproducido con ± 100 mm³. El volumen del envase lleno a la marca será por lo menos 50 por ciento más grande que el espacio requerido para acomodar la muestra de ensayo. Un frasco volumétrico de capacidad 500 mL o una jarra de fruta colocada en la parte superior del picnómetro es satisfactorio para una muestra de prueba 500 g de agregados finos. Un frasco Le Chatelier como descrito en la AASHTO T 133 es satisfactorio para una muestra de prueba de aproximadamente 55g.

5.3 *Cono.*— Un molde metálico de la forma de un cono truncado con las dimensiones siguientes: 40± 3 mm de diámetro interior en la parte superior, y 90± 3 mm de diámetro interior en la parte inferior, y 75 ± 3 mm de altura, con el metal teniendo un espesor mínimo de 0.8 mm.

5.4 *Un pison.*— Un pisón metálico teniendo una masa de 340 ± 15 g y teniendo una cara circular plana para apisonamiento de 25 ± 3 mm de diámetro. (Ver Equipo en **Fotografía E 9.1**).

6. MUESTREO

6.1 El muestreo será realizado en general de acuerdo a AASHTO T2.



Fotografía E 9.1.

Equipo:
a) Picnómetro, b) Balanza, c) Agregado fino, d) Cono e) Pisón.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

7. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

7.1 Obtenga aproximadamente un kilogramo de agregado fino de la muestra usando los procedimientos aplicables descritos en AASHTO T 248.

7.1.1 Secar en un recipiente adecuado o una vasija hasta obtener un peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Deje enfriar hasta una temperatura confortable de manejo, cubrir con agua, ya sea por inmersión o por adición de humedad de al menos 6% para el agregado fino y dejar en reposo por 15 a 19 horas.

7.1.2 Como una alternativa para la sección 6.1.1 donde la absorción y los valores de la gravedad especifica serán usados en la dosificación de mezclas de concreto con agregados en su condición de humedad natural, el requisito de secado inicial para obtener

un peso constante puede ser eliminado y si las superficies de las partículas han sido mantenidas húmedas, entonces las 15 horas inmersión de puede ser eliminada.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía E 9.2. **Cuarteador para arena.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 1-Los valores para absorción y para gravedad específica en la condición saturada-superficialmente-seca pueden ser significativamente más altos para agregados que no fueron secados al horno antes de poner en remojo el mismo agregado tratado conforme con la sección 6.1.1.

7.2 Decante el excedente de agua con cautela para evitar pérdida de finos, esparza la muestra en una superficie plana poco absorbente (ver **Fotografía E 9.3**.) expuesta a una corriente de aire caliente, suavemente en movimiento, y mezcle frecuentemente hasta obtener secado homogéneo. Si se desea, ayuda mecánica tal como mezclar, frotar con las manos o voltear puede realizarse para lograr la condición saturada superficialmente seca. A medida que el material comience a secarse suficientemente, puede ser necesario maniobrarlo con las manos en un movimiento frotador para romper cualquier aglomeración, terrones, o bolas de material que se desarrollen. Continúe con esta operación hasta que el espécimen de prueba se aproxime a una condición de flujo libre. Siga el procedimiento de la sección 7.2.1 para determinar si la humedad superficial esta o no presente en las partículas finas que constituyen el agregado. Se propone que el primer

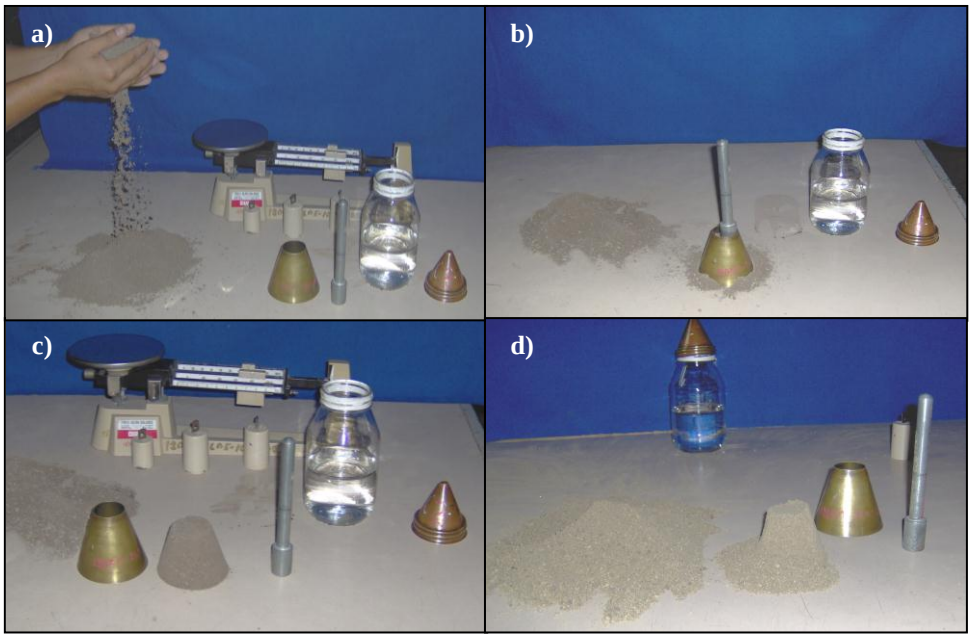
ensayo de la prueba del cono se realice con alguna humedad superficial en el espécimen. Continúe secando con movimientos constantes, y si es necesario, maneje el material con un movimiento frotándolo con las manos, y haga pruebas a intervalos frecuentes hasta que la prueba indique que el espécimen ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca. Si la primera prueba del ensayo de humedad en la superficie indica que la humedad no está presente en la superficie, entonces se ha pasado de la condición saturada superficialmente seca a la condición seca. En este caso, mezcle completamente algunos mililitros de agua con el agregado fino y deje reposar el espécimen en un envase cubierto por 30 minutos. Entonces reanude el proceso de secado y ensaye a intervalos frecuentes hasta lograr la condición saturada superficialmente seca.

Fotografía E 9.3 **Muestra en una superficie no absorbente.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

7.2.1 El cono de ensayo para la humedad superficial.- Sujete el molde firmemente en una superficie lisa poco absorbente con el diámetro grande hacia abajo. Coloque una porción de agregado fino parcialmente seco holgadamente en el molde llenándolo hasta que ocurra el derramamiento y el material adicional acumularlo por encima de la parte superior del molde manteniendo los dedos ahuecados con la mano que sujeta al molde. Agilmente apisone el agregado fino en el molde con 25 caídas libres del pisón. Cada caída deberá iniciar a más o menos 5 mm (0.2 Pulg) por encima de la superficie de

la parte superior del agregado fino. Permita que el pisón caiga libremente bajo la atracción gravitacional en cada caída. Ajuste la altura inicial para la nueva elevación de la superficie después de cada caída y distribuya las caídas sobre la superficie. Remueva la arena suelta de la base y levante el molde verticalmente. Si la humedad superficial esta aun presente, entonces el agregado fino retendrá la forma del molde. Cuando el agregado fino desciende ligeramente, indica que ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca. Cierto agregado fino angular o material con una proporción alta de finos puede no descender en la prueba del cono a pesar de haber alcanzado la condición superficialmente seca. Este puede ser el caso si al dejar caer un puño de arena del cono de ensayo de 100 a 150 mm por encima de la superficie los finos son llevados por el aire. Para estos materiales, la condición saturada superficialmente seca debería ser considerada como el punto donde una parte del agregado fino desciende ligeramente al remover el molde.



Fotografía E 9.4.

a) Secando el material,
b) Compactando,
c) Cono de arena completo y
d) Cono de arena condición sss.

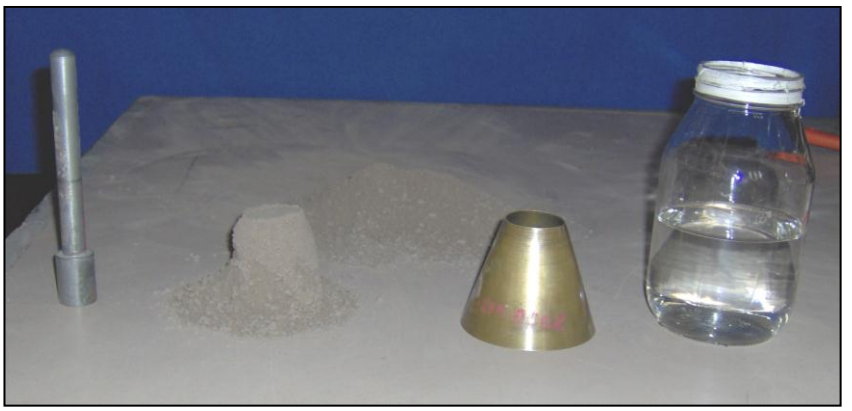
Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 2- Los siguientes criterios también han sido usados en materiales que fácilmente no descienden:
1. *El ensayo provisional del cono*-Llene el molde del cono como describió en la sección 6.2.1 excepto que solo aplicara 10 caídas libres con el pisón. Agregue más agregado fino y otra vez aplique 10 caídas con el pisón. Entonces agregue material dos veces mas utilizando tres y dos caídas con el pisón, respectivamente.
2. *Ensayo provisional de la superficie*- Si los finos son llevados por el aire cuando notes algo semejante en el agregado fino, no descenderá, cuando este en una condición de humedad; incorpore mas humedad a la arena y al comenzar la condición seca en la superficie, con la mano ligeramente palmee aproximadamente 100 g del material en una superficie plana, seca, limpia, oscura u opaca poco absorbente como una hoja de hule, galvanizada, una superficie acerada, o una superficie metálica pintada de color negro. Después de uno a tres segundos, remueve el agregado fino. Si la humedad es apreciable a la vista en la superficie de ensayo por más de uno a dos segundos, Se considera entonces que el agregado fino esta en la condición saturada superficialmente seca.
3. Procedimientos colorimétricos descritos por Kandhal y Lee, Highway Research Record No. 307, p.
4. Para alcanzar la condición saturada superficialmente seca en un material del mismo tamaño que desciende cuándo esta húmedo, utilizar papel toalla resistente para secar la superficie del material hasta el punto donde precisamente el papel toalla no aparente estar tomando la humedad de la superficie de las partículas del agregado fino.

8. PROCEDIMIENTO

8.1 Tome y registre todas las masas determinándolos para 0.1 g.

8.2 Llene parcialmente el picnómetro con agua (ver **Fotografía E 9.5.)**. Inmediatamente introduzca en el picnómetro 500±10 g de agregado fino saturado superficialmente seco preparado como se describió en la sección 6, adicione mas agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad (ver **Fotografía E 9.6.)**. Manualmente ruede, invierta, y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire (**Nota 3**). Realice agitación mecánica vibratoria externa al picnómetro en una manera tal de no degradar la muestra. Un nivel de agitación ajustada para simplemente poner las partículas individuales en movimiento son suficientes para estimular la des-aireación sin degradación. Un agitador mecánico será considerado aceptable para su uso, cuando la comparación de ensayos por cada periodo de uso de 6 meses presenta variaciones menores al rango aceptable de dos resultados (D2S) indicadas en la **Tabla 1**. para resultados de agitación manual, para el mismo material. Ajuste la temperatura a 23.0±1.7 °C (73.4±3 °F), si es necesario por inmersión en agua circulante, y llene el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determine la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.



Fotografía E 9.5. **Llenando parcialmente el picnómetro con agua.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 3-Es normal que de 15 a 20 minutos se eliminen las burbujas de aire por métodos manuales. Se ha encontrado que útil sumergir rollitos de papel toalla en el picnómetro para dispersar la espuma que algunas veces se forma en la parte superior al eliminar las burbujas de aire, o agregar algunas gotas de alcohol isopropílico (isopropyl), después de la extracción de las burbujas de aire y justamente antes de llenar el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad de calibración, además se ha encontrado útil en dispersar espuma en la superficie del agua. No use alcohol de isopropílico (isopropyl) al usar el método alternativo descrito en la Sección 7.2.1.

Tabla E 9.1 **Precisión.**

	Desviación Estándar (1S)[a]	**Rango Aceptable de dos Resultados (D2S)[a]**
Precisión de un solo operador:		
Gravedad Especifica	0.011	0.032
Gravedad Especifica (SSD)	0.0095	0.027
Gravedad Especifica Aparente	0.0095	0.027
Porcentaje de Absorción(b)	0.11	0.31
Precisión de Multilaboratorio:		
Gravedad Especifica	0.023	0.066
Gravedad Especifica (SSD)	0.020	0.056
Gravedad Especifica Aparente	0.020	0.056
Porcentaje de Absorción(b)	0.23	0.66

[a] Estos números representan, respectivamente (1S) y la (D2S) los limites descritos en la ASTM C 670. Las estimaciones de precisión fueron obtenidas del análisis de las combinaciones de AASHTO Materials Reference Laboratory referenciando datos de varios laboratorios utilizaron un tiempo de 15 a 19 horas de saturación y otros laboratorios utilizaron un tiempo de 24 ± 4 horas de saturación. Los ensayos fueron realizados con agregados de gravedades específicas comunes, los agregados fueron secados en el horno.

(b) Las estimaciones de precisión se basan en agregados con absorciones menores al 1% y pueden diferir para agregados finos elaborados teniendo valores de absorción mayores al 1%.

Fotografía E 9.6 **Llenando el picnómetro con la arena y agua.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

8.2.1 *Alternativa para determinar la masa en la sección 7.2*- La cantidad necesaria de agua a añadir para llenar el picnómetro a la temperatura requerida puede ser determinada volumetricamente usando una bureta de precisión para 0.15 ml. Calcular la masa total del picnómetro, espécimen, y agua como sigue:

$$C= 0.9975Va + S+W \qquad (1)$$

Donde:

C = Masa de picnómetro con el espécimen y el agua hasta marca de calibración, g.;
Va = El volumen de agua se añadida al picnómetro, ml;
S = Masa del espécimen saturada superficialmente seco, g; y
W = Masa del picnómetro vacío, g.

8.2.2 *La alternativa para el procedimiento en la sección 7.2*- Use un frasco Le Chatelier inicialmente llenarlo con agua hasta un punto en el tronco entre la marca de 0 a 1 ml. Registre esta lectura como inicial con el frasco y los contenidos dentro del rango de temperatura de 23.0 ± 1.7 °C (73.4 ± 3 °F). Añada 55 ± 5 g de agregado fino en la condición saturada superficialmente seca (u otra masa necesaria para ocasionar que el

nivel de agua suba hasta cierto punto en la serie superior de la graduación). Después de haber introducido todo el agregado fino, coloque el tapón en el frasco y ruede el frasco en una posición inclinada, o atentamente hágalo girar en la forma de un círculo horizontal para desalojar todo el aire atrapado, continuando hasta que no salgan más burbujas a la superficie (**NOTA 4**). Tome la lectura final del frasco y los contenidos dentro 1 °C (1.8 F) de la temperatura original.

NOTA 4 –Cuando utilice el método del frasco Le Chatelier, lentamente añada una pequeña cantidad medida de alcohol isopropílico (no exceder de 1 ml), después de la extracción de las burbujas de aire se ha encontrado útil como disgregador de la espuma superficial aparecida en el de agua. El volumen de alcohol usado debe ser sustraído de la lectura final (R2).

8.3 Remueva el agregado fino del picnómetro, secar hasta una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), enfriar a temperatura de ambiente por 1.0 ± 0.5 horas y determine su masa.

NOTA 5-En lugar de secar y determinar la masa de la muestra que ha sido removida del picnómetro, una segunda porción saturada superficialmente seca puede usarse para determinar la masa secada al horno. Esta muestra debe ser obtenida al mismo tiempo y estar dentro de 0.2 gramos de la masa de la muestra que se introduce en el picnómetro.

8.3.1 Si el método del frasco Le Chatelier es usado, es necesario separar una porción de la muestra para determinar la absorción. Pesar una porción de 500 ± 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco, secar hasta obtener una masa constante y tome nuevamente su peso. Esta muestra debe ser obtenida al mismo tiempo que introducimos la muestra en el frasco Le Chatelier.

8.4 Determine la masa del picnómetro llenándolo hasta su capacidad de calibración con agua a 23.0 ± 1.7 °C (73.4 ± 3 °F).

8.4.1 *Alternativa para determinar la masa en la sección 7.4*-La cantidad de agua necesaria para llenar el picnómetro vacío a la temperatura requerida puede ser determinada volumetricamente usando una bureta de precisión de 0.15 ml. Calcule la masa del picnómetro lleno de agua con la formula siguiente:

$$B = 0.9975V + W \qquad (2)$$

Donde:

B = Masa del frasco lleno con agua, g;

V = Volumen del frasco, ml;

W = Masa del frasco vació, g.

9. GRAVEDAD ESPEFICICA BULK

9.1 Calcule la Gravedad Especifica Bulk, 23/23 °C (73.4/73.4 °F), como esta definida en AASHTO M 132, como sigue:

$$G.E. = \frac{A}{B + S - C} \qquad (3)$$

Donde:

A = Masa al aire de la muestra secada al horno, gr.

B = Masa del picnómetro lleno con agua, gr.

C = Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta su capacidad de calibración, gr;

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr.

9.1.1 Si se usa el método del frasco Le Chatelier, entonces calcule la Gravedad Específica Bulk, 23/23 °C, como sigue:

$$G.E. = \frac{S_1\left(\frac{A}{S}\right)}{0.9975(R2 - R1)} \qquad (4)$$

Donde:

R1 = Lectura inicial del nivel de agua en frasco Le Chatelier;

R2 = Lectura final de nivel de agua en frasco Le Chatelier;

S1 = Masa de la muestra saturado superficialmente seco usando el frasco Le Chatelier, g.

10. GRAVEDAD ESPECIFICA BULK (SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA)

10.1 Calcule la Gravedad Específica Bulk (SSS), 23/23C (73. 4 / 73.4 F), en base a la masa del agregado saturado superficialmente seco, como sigue:

$$G.E._{(SSS)} = \frac{S}{B + S - C} \qquad (5)$$

10.1.1 Si se usa el método del frasco Le Chatelier, entonces calcule la Gravedad Específica Bulk, 23/23 °C, en base al agregado saturado superficialmente seco, como sigue:

$$G.E._{(sss)} = \frac{S_1}{0.9975(R2 - R1)} \qquad (6)$$

11. GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE

11.1 Calcule la Gravedad Especifica Aparente, 23/23 °C (73.4/73.4 °F), como esta definida en la M 132, como sigue:

$$G.E._{Aparente} = \frac{A}{B + A - C} \qquad (7)$$

12. ABSORCION

12.1 Calcule el porcentaje de absorción, como esta definida en la ASTM C 125, como sigue:

$$\%Abs. = \left[\frac{(S - A)}{A}\right] \times 100 \qquad (8)$$

13. REPORTE

13.1 Reportar los resultados de la gravedad específica con aproximaciones de 0.01 y la absorción para el 0.1 por ciento. El apéndice da interrelaciones matemáticas entre los tres tipos de gravedades específicas y absorción. Estos pueden ser útiles para comprobar la

consistencia de datos reportados o calcular un valor que no fue reportado usando otros datos reportados.

13.2 Si el agregado fino no fue secado al horno y fue saturado por inmersión de 15 horas en su condición de húmeda natural, reporte la procedencia de la muestra y el procedimiento que se utilizo de secar o no la muestra.

14. PRECISION Y TENDENCIAS

14.1 Las estimaciones de precisión de este método de ensayo se muestran en la **Tabla E 9.1** basada en los resultados de la AASHTO Materials Reference Laboratory Reference Sample Program, con ensayos bajo la dirección de este método de ensayo y la ASTM C 128. La diferencia significativa entre los métodos de ensayo es que ASTM C 128 requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas, mientras la AASHTO T 84 requiere un período de saturación menor de 15 a 19 horas. Se ha encontrado que esta diferencia tiene un efecto insignificante en los índices de precisión. Los datos se basan en los análisis de más de 100 pares de resultados de ensayo de 40 a 100 laboratorios.

14.2 Como no hay un material aceptado de referencia para determinar la tendencia para el procedimiento en T 84 para la Gravedad Especifica y Absorción del agregado fino, no se hace ninguna declaración de tendencias.

9.0 APENDICE (Información no obligatoria)

9.A1. LAS INTERRELACIONES ENTRE LAS GRAVEDADES ESPECÍFICAS Y LA ABSORCIÓN SON DEFINIDAS EN LOS MÉTODOS T 84 Y T 85

9.A1.1 Donde:

Sd = Gravedad Especifica Bulk (secada)
Ss = Gravedad Especifica Bulk (SSS)
Sa = Gravedad Especifica Aparente
A = Absorción en porcentaje.

Entonces:

$$Ss = \left(1 + \frac{A}{100}\right) Sd \qquad (9)$$

$$Sa = \frac{1}{\frac{1}{Sd} - \frac{A}{100}} = \frac{Sd}{1 - \frac{ASd}{100}} \qquad (10)$$

$$Sd = \frac{1}{\frac{1 + \frac{A}{100}}{Ss} - \frac{A}{100}} = \frac{Ss}{1 - \left[\frac{A}{100}(Ss - 1)\right]} \qquad (11)$$

$$A = \left(\frac{Ss}{Sd} - 1\right) 100 \qquad (12)$$

$$A = \left(\frac{Sa - Ss}{Sa(Ss - 1}\right) 100 \qquad (13)$$

Este método está acorde con la ASTM C 128-97 excepto por las diferencias en el tiempo de saturación del agregado, requerimientos para balanzas, y las provisiones en Notas 3, 4 y 5.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO FINO (AASHTO T 84-91, ASTM C 127- (1993))

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto 2007
Proyecto:	Trabajo de graduación	Fecha de ensayo:	Agosto 2007
Procedencia:	Aguilares	Laboratorista:	Amilcar Reyes
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	Hugo Guzman
Material:	Arena		

Peso de tara 1-1 193.8 g Peso de tara 2-2 135.0 g

Muestra No.	1	2	
Picnometro No.	1-1	2-2	
Peso de muestra SSS g	510	510	
Peso de picnometro + agua g	1478.6	1473.4	
Peso de picnometro + agua + muestra g	1785.8	1779.2	
Peso seco de muestra seca + tara g	696.7	637.4	
Peso de muestra seca g	502.9	502.4	
Gravedad específica	2.476	2.455	
Gravedad específica SSS	2.513	2.491	
Gravedad específica aparente	2.572	2.548	
Absorción %	1.4	1.5	
Gravedad específica promedio	2.466		
Promedio de absorción %	1.5		

Observaciones:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO INTERMEDIO (AASHTO T 84-91, ASTM C 127- (1993))

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto 2007
Proyecto:	Trabajo de graduación	Fecha de ensayo:	Agosto 2007
Procedencia:	Cantera Colima	Laboratorista:	Amilcar Reyes
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	Hugo Guzman
Material:	Agregado Interm. 1/4"-0"		

Peso de tara 1-1 192.6 g Peso de tara 2-2 197.3 g

Muestra No.	1	2	
Picnometro No.	1-1	2-2	
Peso de muestra SSS g	510.0	510.0	
Peso de picnometro + agua g	1478.6	1473.4	
Peso de picnometro + agua + muestra g	1806.0	1799.6	
Peso seco de muestra seca + tara g	697.0	700.7	
Peso de muestra seca g	504.4	503.4	
Gravedad específica	2.762	2.738	
Gravedad específica SSS	2.792	2.774	
Gravedad específica aparente	2.849	2.840	
Absorción %	1.1	1.3	
Gravedad específica promedio	2.750		
Promedio de absorción %	1.2		

Observaciones:

Ensayo No. 10.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

Basado en norma AASHTO: T 85 - 91 (2000)

Con equivalencia en ASTM: C 128 - 88 (1993)

1.0 OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento para realizar la Gravedad Especifica
- Determinara la Gravedad Especifica Bulk, Gravedad Especifica Bulk (SSS) y la Gravedad Especifica Aparente.
- Determinar el porcentaje de Absorción.

2. ALCANCE

2.1 Este ensayo cubre la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso. La gravedad específica puede ser expresada como Gravedad Específica Bulk, Gravedad Específica Bulk Saturada Superficialmente Seca (SSS) o Gravedad Específica Aparente. La Gravedad Específica Bulk Saturada Superficialmente Seca (SSS) y la absorción están basadas en la inmersión del agregado en agua por 15 horas. Este método no es aplicable para agregados de peso ligero.

2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

2.3 Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar, establecer prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS.

3.1 Normas AASHTO:

M 43, Tamaños de Agregado para Construcción de Carreteras y Puentes.

M 92, Tamices de Tela metálica para Propósitos de Ensayo.

M 132, Términos Relacionados a Densidad y Gravedad Específica de Sólidos, Líquidos y Gases.

M 231, Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos.

R 1, Uso del Sistema Internacional de Unidades.

T 2, Muestreo de Agregados

T 19/T 19 M, Densidad Bulk (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados

T 84, Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino

T 248, Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

T 255, Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.

3.2 Normas ASTM:

C 125, Terminología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto.

C 670, Practica para Informes de Precisión y Error para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

4. TERMINOLOGIA

4.1 *Definiciones:*

4.1.1 *Absorción.*— es el incremento en la masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros del material, pero no incluye el agua adherida en el exterior de la superficie de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera seco cuando ha sido mantenido a una temperatura de 110 ± 5°C el tiempo suficiente para remover el agua contenida.

4.1.2 *Gravedad Especifica.*— es la proporción de la masa (o el peso en el aire) entre la unidad de volumen de un material para la masa del mismo volumen de agua a una temperatura determinada. Los valores son dimensionales.

4.1.2.1 *Gravedad Especifica Aparente.*— es la proporción de el peso al aire entre unidad de volumen de la porción impermeable del agregado a una temperatura determinada, para el peso al aire de un volumen equivalente de agua destilada libre de gas a una temperatura determinada.

4.1.2.2*Gravedad Especifica Bulk.*— es la proporción de el peso en el aire entre unidad de volumen de agregado (incluyendo los vacíos permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los vacíos entre partículas) para el peso al aire de un volumen equivalente de agua destilada libre de gas a una temperatura determinada.

4.1.2.3 *Gravedad Especifica Bulk (SSS).*— es la proporción de la masa en el aire entre unidad de volumen de agregado, incluyendo la masa de los vacíos llenos de agua lo cual se logra sumergiendo el agregado en agua por aproximadamente 15 horas.

5. RESUMEN DEL METODO

5.1 Los agregados muestreados sumergirlos en agua por aproximadamente 15 horas hasta llenar esencialmente los poros. Entonces removerlos del agua, secar el agua superficial de las partículas, y pesar. Seguidamente tomar la muestra y pesarla mientras se sumerge en agua. Finalmente las muestras son secadas en el horno y pesada por tercera vez. Usando la masa y peso de las mediciones obtenidas, y las fórmulas del método, es posible calcular los tres tipos de gravedad específica y la absorción.

6. SIGNIFICADO Y USO

6.1 La gravedad específica bulk es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en diversas mezclas incluyendo el concreto de cemento Portlan, concreto bituminoso, y otras mezclas que están dosificadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La gravedad específica bulk es también usada en el cálculo de los vacíos entre los agregados AASHTO T 19/T 19M. La gravedad especifica bulk determinada en la condición saturada superficialmente seca (SSS), es usada si el agregado esta húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha.

Inversamente, la gravedad específica bulk (secada al horno) es usada para cálculos cuando el agregado está seco o asumido por estar seco.

6.2 La gravedad específica aparente incide en la densidad relativa del material sólido formando las partículas constituyentes no incluyendo el espacio del poro dentro de las partículas que son accesible para el agua.

6.3 Los valores de absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en el espacio de los poros dentro de las partículas constituyentes, comparado para la condición seca, cuando se estima que el agregado ha estado en contacto con el agua el periodo suficiente hasta satisfacer la mayor parte del potencial de absorción. El procedimiento de laboratorio para la absorción es obtenida después de sumergir el agregado seco en agua por aproximadamente 15 horas. Los agregados extraídos debajo de la capa freática pueden tener una absorción mayor cuando son usados, en el caso de no realizar el secado. Inversamente, algunos agregados cuando son empleados pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión de 15 horas prescrita. Para un agregado que ha estado en contacto con agua y tiene la humedad libre en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre puede ser determinada deduciendo la absorción del contenido total de humedad determinada por AASTHO T 255.

NOTA 1-La terminología para la gravedad específica esta basa en términos según AASHTO M 132, y para la absorción se encuentran basados en término según la ASTM C 125.

7. EQUIPO

7.1 *Balanza.*— de acuerdo a AASHTO M 231, Clase G 5. La balanza estará equipada con un aparato adecuado para suspender el contenedor de la muestra en el agua desde el centro de la plataforma de pesado o la cazuela de la balanza. (Ver **Fotografía E 10.1**).

7.2 *Contenedor de la muestra.*— Una canasta de alambre de 3.35 mm (No. 6) o de tamiz más fino, o un cubo de aproximadamente igual anchura y altura, con una capacidad de 4 a 7 L para agregados de tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½ pulg) o mas pequeño. Si es necesario utilizar un contenedor más grande para ensayar agregados de

mayor tamaño. El contenedor estará construido para prevenir que el aire quede atrapado, cuando el contenedor esté sumergido. (Ver **Fotografía E 10.2.a)**).

7.3 T*anque con agua*.—– Un tanque hermético en el cual la muestra y el contenedor se puedan colocar en inmersión completa, mientras esta suspendido debajo de la balanza, equipado con una desembocadura de rebose para mantener un nivel constante de agua. (Ver **Fotografía E 10.2.b)**).

7.4 *El aparato suspendido.*— el alambre que suspende el contenedor deberá ser lo más delgadamente posible, para minimizar cualquier efecto posible de una larga inmersión variable. (Ver **Fotografía E 10.2.c)**).

7.5 *Tamices*.— un tamiz de 4.75-mm (No. 4) u otros tamaños como se necesiten (Secciones 8.2, 8.3, y 8.4), conforme a la M 92

Fotografía E 10.1. **Balanza digital utilizada para Gravedad Especifica Bulk**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía E 10.2.

a) Contenedor de la muestra
b) Tanque con agua
c) Aparato suspendido

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

8. MUESTREO

8.1 Muestrear los agregados de acuerdo a AASHTO T2.

8.2 Completamente mezcle la muestra de agregado y reduzca hasta la cantidad aproximada necesaria, usando los procedimientos aplicables en AASHTO T 248. Rechace todo el material que pasa el tamiz de 4.75-mm (No. 4) por tamizado en seco y lavando completamente hasta remover el polvo u otro recubrimiento en la superficie (Ver **Fotografía E 10.3a)**). Si el agregado grueso contiene una cantidad considerable de materiales más finos que el tamiz de 4.75-mn (No 4) (como para agregados de tamaño No.8 y 9 en AASHTO M 43), use el tamiz de 2.36 mm (No. 8) en lugar del tamiz de 4.75 mm (No. 4). Alternativamente, separe el material mas fino por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y ensáyelo conforme a AASHTO T 84.

8.3 La masa mínima de la muestra de ensayo a ser utilizada es dada a continuación. En muchos casos puede ser deseable ensayar un agregado grueso en varias fracciones

separando sus tamaños; y si la muestra contiene más del 15 por ciento retenido en el tamiz de 37.5-mm (1 ½ pulg), ensaye los materiales mayores que 37.5 mm en una o más fracciones separándolas de las fracciones de tamaño mas pequeñas. Cuando un agregado es ensayado en fracciones de tamaño separados, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción será la diferencia entre la masa prescriptas para el tamaño máximo y mínimo de las fracciones.

Tabla E 10.1 **Masa mínima de la muestra**

Tamaño Máximo Nominal, mm (pulg)	Masa mínimo de la muestra, Kg (lb)
12.5(1/2) o menos	2(4.4)
19.0(3/4)	3(6.6)
25.0(1)	4(8.8)
37.5(1 ½)	5(11)
50(2)	8(18)
63(2 ½)	12(26)
75(3)	18(40)
90(3 ½)	25(55)
100(4)	40(88)
112(4 ½)	50(110)
125(5)	75(165)
150(6)	125(276)

8.4 Si las muestras se ensayaron en dos o más fracciones de tamaño, determine la graduación de la muestra de acuerdo a AASHTO T 27, incluyendo los tamices usados para separar el tamaño de la fracción para las determinaciones en este método.

9. PROCEDIMIENTO

9.1 Seque la muestra de ensayo hasta obtener una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), enfriar a temperatura ambiente de una a tres horas las muestras de ensayo de tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½ pulg), o un periodo mayor para tamaños máximos nominales mayores hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea confortable manipular (aproximadamente 50 °C). Seguidamente sumerja en agua el agregado a temperatura ambiente por un período de 15 a 19 horas.

Fotografía E 10.3. **a) Muestra lavada b) Muestra secada en el Horno**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

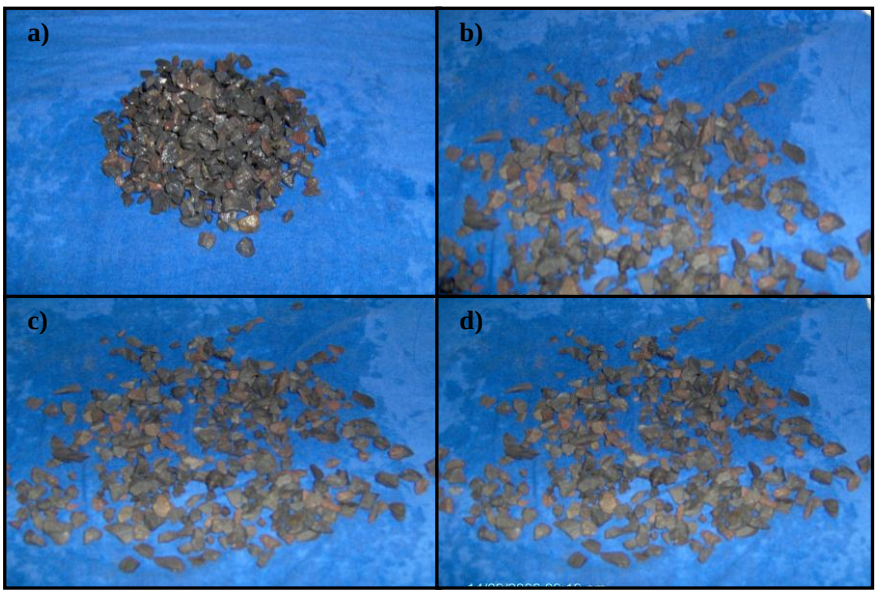
NOTA 2- Cuando se ensaye agregado grueso de tamaño máximo nominal grande se requiere mayor cantidad de material a ensayar, puede ser más conveniente realizar el ensayo en dos o más partes, y los valores obtenidos combinarlos por los cálculos descritos en la sección 10.

9.2 Cuando los valores de absorción y de gravedad especifica van ha ser utilizados en dosificar mezclas de concreto en la cual los agregados están en su condición de humedad natural, el requisito de secado inicial hasta masa constante puede ser eliminado y si las superficies de las partículas en la muestra han sido mantenidas continuamente mojadas hasta cuando se realice el ensayo, entonces la inmersión del agregado de 15 horas puede ser eliminada.

NOTA 3- Los valores de absorción y la gravedad específica (SSD) pueden ser significativamente más altos para agregados que no fueron secados al horno antes de estar en remojo que para el mismo agregado tratado de acuerdo con la Sección 8.1. Esto es especialmente cierto en partículas mayores que 75 mm (3 pulg) ya que el agua no puede ser capaz de penetrar en los poros hacia el centro de la partícula en el periodo prescripto de remojo.

8.3 Remueva la muestra de ensayo del agua y enróllela en una tela absorbente grande hasta que toda película visible de agua sea removida. Seque las partículas mayores individualmente. Una corriente de aire puede usarse para ayudar en la operación de secado. Tenga cuidado para evitar la evaporación del agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficialmente. Determine la masa de la muestra de

ensayo en la condición saturada superficialmente seca (SSS). Registre esta y todas los subsiguientes masas con una aproximación de 1.0 gr. o 0.1 por ciento de la masa de la muestra, la que sea mayor. (Ver **Fotografía E 10.4**).



Fotografía E 10.4.

a) Muestra saturada después de 15 horas de inmersión.
b) Seque la muestra con una tela absorbente.
c) Enrolle la muestra y seque las partículas más grandes
d) La condición saturada superficialmente seco se logra cuando las partículas presentan un color opaco.

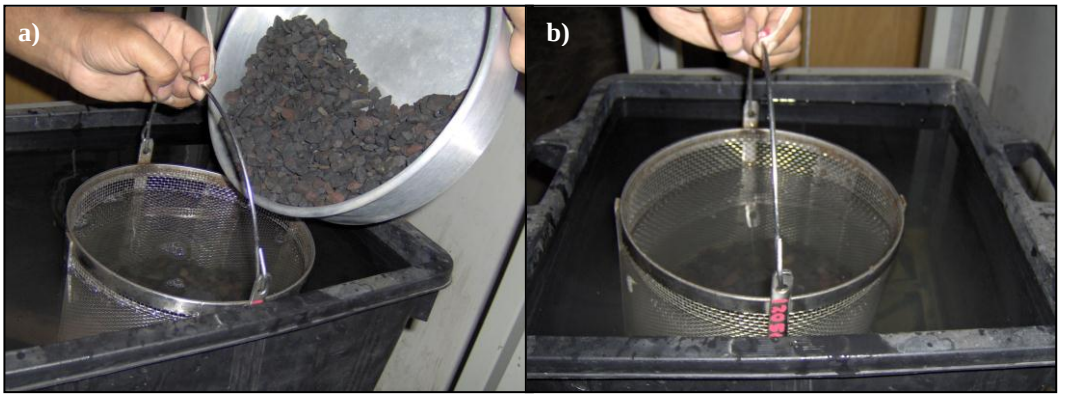
Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

9.4 Después de determinar la masa, inmediatamente coloque la muestra de ensayo saturada-superficialmente-seca (SSS) en el contenedor de la muestra y determine su masa en el agua a 23.0 ± 1.7 °C (73.4 ± 3°F), teniendo una densidad de 997 ± 2 kg/m³. Tenga cuidado de remover todo el aire atrapado antes de determinar su masa, meneando el contenedor con la muestra mientras se sumerge. (Ver **Fotografía E 10.5**).

NOTA 4- El contenedor debe hallarse sumergido a una profundidad suficiente para cubrir la muestra de ensayo, durante la determinación de su masa.

9.5 Seque la muestra de ensayo hasta obtener una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), enfriar a temperatura ambiente de una a tres horas, o hasta que

el agregado se haya enfriado a una temperatura adecuada para manipular (aproximadamente 50 ° C), y determine su masa. Use este peso como A para los cálculos en la sección 10.



Fotografía E 10.5

a) Coloque la muestra (SSS) en el contenedor de la muestra.
b) Sumerja la muestra en agua obteniendo su masa sumergida.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

10. CALCULOS

10.1 La gravedad específica:

10.1.1 *La gravedad Específica Bulk.*— Calcule la Gravedad Especifica Bulk, 23/23°C (73.4/73.4° F), como a continuación se indica:

$$G.E. = \frac{A}{B - C} \qquad (1)$$

Donde:

A = Masa al aire de la muestra secada al horno, g;

B = Masa al aire de la muestra saturada-superficialmente-seca, g; y

C = Masa de la muestra saturada en agua, g

10.1.2 *Gravedad Especifica Bulk (Saturada-Superficialmente-Seca (SSS).*— Calcule la Gravedad Especifica Bulk,23/23°C (73.4/73.4° F), en base a la masa saturada-superficialmente-seca del agregado, como a continuación se indica:

$$G.E._{(SSS)} = \frac{B}{B - C} \qquad (2)$$

10.1.3 *Gravedad Específica Aparente.*— Calcule la Gravedad Especifica Aparente, 23/23 °C (73.4/73 4° F), como a continuación se indica:

$$G.E._{Aparente} = \frac{A}{A - C} \qquad (3)$$

10.2 *Promedie los valores de Gravedad Específica.*— Cuando la muestra es ensayada en fracciones separadas, el promedio de los valores de la Gravedad Especifica Bulk, Gravedad Especifica Bulk (SSS) y la Gravedad Especifica Aparente pueden ser calculados como el promedio compensado de los valores calculados de acuerdo con la sección 9.1, usando la siguiente ecuación:

$$G. = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + ... \frac{P_n}{100G_n}} \qquad (4)$$

Donde:

G = Promedio de Gravedad Especifica (Todas las formas de expresión de Gravedad Específica pueden ser promediadas de esta manera);

G_1, $G_2 \ldots G_n$ = Asigne valores de gravedad específica para cada tamaño de fracción, dependiendo del tipo de gravedad específica que este siendo promediado; y

P_1, $P_2 \ldots P_n$ = Porcentajes de las masas de cada fracción presentes en la muestra original.

NOTE 5- Algunos usuarios de este método pueden tener el deseo de expresar los resultados en términos de la densidad. La densidad puede ser determinada multiplicando la Gravedad Específica Bulk, Gravedad Específica Bulk (SSS) o la Gravedad Específica Aparente por la densidad del agua (997.5 kg/m³; 0.9975 Mg/m³ o 62.27 lb/ft³ a 23 °C). Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4 °C (1000kg/m³; 1.000 Mg/m³; o 62.43 lb/ft³) siendo suficientemente exactos. Los resultados deben ser expresados para tres cifras significativas. La terminología de densidad correspondiente para la Gravedad Específica Bulk, Gravedad Específica Bulk (SSD) y la Gravedad Específica Aparente, no ha sido estandarizada.

10.3 *Absorción.*— Calcule el porcentaje de absorción, como a continuación se indica:

$$\%Abs. = \left[\frac{(B - A)}{A}\right] \times 100 \qquad (5)$$

10.4 *Promedio de valores de Absorción.*— Cuando la muestra es ensayada en fracciones separadas, el promedio de valores de absorción es el promedio de los valores calculados en la sección 9.3, compensando la proporción de los porcentajes de la masa del tamaño de las fracciones en la muestra original como se indica a continuación:

$$\%\text{Abs.} = \left[\frac{P_1 A_1}{100} + \frac{P_2 A_2}{100} + \ldots \frac{P_n A_n}{100} \right] \qquad (6)$$

Donde:

%Abs. = Promedio de la absorción, en porcentaje;

$A_1, A_2 \ldots A_n$ = Porcentajes de absorción para cada tamaño de fracción; y

$P_1, P_2 \ldots P_n$ = Porcentajes de las masas de cada tamaño de fracción presentes en la muestra el original.

11. REPORTE

11.1 Reporte los resultados de Gravedad Específica con aproximaciones de 0.01, e indique el tipo de gravedad específica, ya sea Gravedad Específica Bulk, Gravedad Especifica (Saturada-Superficialmente-Seca (SSS)) o la Gravedad Especifica Aparente.

11.2 Reporte los resultados de absorción con aproximaciones de 0.1 por ciento.

11.3 Si la gravedad específica y los valores de absorción fueron determinados sin haber primero secado el agregado, como es permitido en la sección 8.2, será detallado en el reporte.

12. PRECISIÓN Y DISPOSICIONES

12.1 Las estimaciones de precisión de este método de ensayo se muestran en la **Tabla E 10.2** basada en los resultados de la AASHTO Programa de Muestras de Referencia en el Laboratorio de Materiales de Referencia, con ensayos bajo la dirección de este método y la ASTM C 127. La diferencia significativa entre los métodos es que ASTM C 127 requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas, mientras la AASHTO T 85 requiere un período de saturación mínimo de 15 horas. Se ha encontrado

que esta diferencia tiene efecto insignificante en los índices de precisión. Los datos se basan en el análisis de más de 100 pares de resultados ensayos de 40 a 100 laboratorios.

12.2 *Error*.— Puesto que no hay material de referencia adecuado aceptado para determinar el error para este procedimiento en este método de ensayo, no se hace ningún informe de error.

Tabla E 10.2 **Precisión**

	Desviación Estándar (1S)[a]	Rango Aceptable de dos Resultados (D2S)[a]
Precisión de un solo operador:		
Gravedad Especifica Bulk	0.009	0.025
Gravedad Especifica Bulk (SSS)	0.007	0.020
Gravedad Especifica Aparente	0.007	0.020
Porcentaje de Absorción (b)	0.088	0.250
Precisión Multilaboratorios:		
Gravedad Especifica Bulk	0.013	0.038
Gravedad Especifica Bulk (SSS)	0.011	0.032
Gravedad Especifica Aparente	0.011	0.032
Porcentaje de Absorción (b)	0.145	0.410

[a] Estos números representan, respectivamente, los límites (1S) y (D2S) como es descrito en ASTM C 670. Las estimaciones de precisión fueron obtenidas del análisis de la combinación de AASHTO Laboratorio de Materiales de Referencia de datos de muestras de usadas por laboratorio de 15 horas de tiempo mínimo de saturación y otros laboratorios usando 24 ± 4 horas de tiempo de saturación. Los ensayos fueron realizados en agregados de Gravedad Especifica normales y con agregados en la condición inicial de secados en el horno.

(b) Las estimaciones de precisión se basan en agregados con absorciones menores del 2 por ciento.

10.0 APENDICES

10.A1. DESARROLLO DE ECUACIONES

10.A1.1 La derivación de las ecuaciones es aparente a partir del siguiente caso simplificado utilizando dos sólidos. El solidó 1 de masa W1 en gramos y un volumen V1 en mililitros; su Gravedad Especifica (G1) es por consiguiente W1/V1. El sólido 2 de mas W2 y un volumen V2, y G2=W2/V2. Considerando los dos sólidos juntos, la

gravedad específica de la combinación de el total de la masa en gramos dividida por el total del volumen in mililitros es:

$$G = \frac{(W1 + W2)}{(V1 + V2)} \qquad (7)$$

Reescribiendo esta ecuación obtenemos lo siguiente:

$$G = \frac{1}{\frac{V1 + V2}{W1 + W2}} = \frac{1}{\frac{V1}{W1 + W2} + \frac{V2}{W1 + W2}} \qquad (8)$$

$$G = \frac{1}{\frac{W1}{W1 + W2}\left(\frac{V1}{W1}\right) + \frac{W2}{W1 + W2}\left(\frac{V2}{W2}\right)} \qquad (9)$$

Sin embargo, los pesos de las fracciones de los dos sólidos son:

$$\frac{W1}{W1 + W2} = \frac{P1}{100} \qquad (10) \qquad \text{y} \qquad \frac{W2}{W1 + W2} = \frac{P2}{100} \qquad (11)$$

y:

$$\frac{1}{G1} = \frac{V1}{W1} \qquad \text{y} \qquad \frac{1}{G2} = \frac{V2}{W2} \qquad (12)$$

Entonces:

$$G = \frac{1}{\left[\left(\frac{P1}{100}\right)\left(\frac{1}{G1}\right) + \left(\frac{P2}{100}\right)\left(\frac{1}{G2}\right)\right]} \qquad (13)$$

Ejemplo de cálculo en la **Tabla E 10.3**.

Tabla E 10.3. **Ejemplo de cálculo de valores promedios de gravedad específica y absorción para un agregado grueso ensayado en fracciones separados.**

Tamaño de la fracción, mm (pulg)	Porcentaje de la muestra original	Gravedad Especifica (SSD)[a]	Peso de la muestra usado en la prueba, g	Porcentaje de Absorción
4.75 a 12.5 (No. 4 a ½)	44	2.72	2213.0	0.4
12.5 a 37.5 (1/2 a 1 ½)	35	2..56	5462.5	2.5
37.5 a 63.0 (1 ½ a 2 ½)	21	2..54	12593.0	3.0

[a] Promedio de Gravedad Especifica (SSS):

$$G.E._{(SSS)} = \frac{1}{\left[\left(\frac{44}{100}\right)\left(\frac{1}{2.72}\right)+\left(\frac{35}{100}\right)\left(\frac{1}{2.56}\right)+\left(\frac{21}{100}\right)\left(\frac{1}{2.54}\right)\right]}$$

$$G.E._{(SSS)} = \frac{1}{\left[\left(\frac{0.44}{2.72}\right)+\left(\frac{0.35}{2.56}\right)+\left(\frac{0.21}{2.54}\right)\right]} = 2.62 \qquad (14)$$

Absorción promedio:

$$\%Abs. = \left[\frac{44\times 0.4}{100}+\frac{35\times 2.5}{100}+\frac{21\times 3}{100}\right]$$

$$\%Abs. = (0.44)(0.4)+(0.35)(2.5)+(0.21)(3.0)= 1.7\% \qquad (15)$$

10.A2. LAS INTERRELACIONES ENTRE LAS GRAVEDADES ESPECÍFICAS Y LA ABSORCIÓN SON DEFINIDAS EN LOS MÉTODOS T 85 Y T 84

10.A2.1 Donde:

Sd = Gravedad Especifica Bulk,
Ssss = Gravedad Especifica Bulk (SSS),
Sa = Gravedad Especifica Aparente, y
%Abs. = Absorción en porcentaje.

10.A2.2 Entonces:

$$S_s = \left(1+\frac{A}{100}\right)S_d \qquad (16)$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \qquad (17)$$

$$S_d = \frac{1}{\frac{1 + \frac{A}{100}}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \left[\frac{A}{100}(S_S - 1)\right]} \qquad (18)$$

$$A = \left(\frac{S_S}{S_d} - 1\right) \times 100 \qquad (19)$$

$$A = \left(\frac{S_a - S_S}{S_a(S_{S-1})}\right) \times 100 \qquad (20)$$

Este método está de acuerdo con la ASTM C 127-88 excepto por las diferencias en el tiempo de saturación del agregado, precisión de unidades de peso, requerimiento de la balanza, requisitos del tanque de agua y el sistema de unidades SI.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T 85-91, ASTM C 127- (1993))

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Fecha de recepción:	Agosto 2007
Proyecto:	Trabajo de graduación	Fecha de ensayo:	Agosto 2007
Procedencia:	Cantera Colima	Laboratorista:	Mauricio Cortez
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Elaboró:	Amilcar reyes
Material:	Agregado 1/2"-1/4"		

Ensayo No		1	2	3
Peso de tara g		172.6	198.1	198.1
Peso de tara para secado g		172.6	194.0	198.1
Peso grava SSS + tara g		2279.0	2892.8	3116.9
Peso de grava SSS g	**B**	2106.4	2694.7	2918.8
Peso de grava sumergida (w aparente) g	**C**	1358.9	1737.8	1880.9
Peso del agua desplazada (vol. Total) g		747.5	956.87	1037.86
Gravedad específica Bulk $_{sss}$	**B/(B-C)**	2.817	2.816	2.812
Peso seco de grava + tara g		2249.9	2854.1	3082.3
Peso seco de grava g	**A**	2077.3	2660.1	2884.2
Peso de agua Kg.				
Peso de agua desplazada por sólidos Kg.				
Gravedad específica aparente	**A/(A-C)**	2.891	2.884	2.874
Gravedad Específica Bulk	**A/(B-C)**	2.778	2.779	2.778
Absorción %	**(B-A) /AX100**	1.4	1.3	1.2
Promedio de Gravedad Específica Bulk		2.778		
Promedio de absorción %		1.3		

Observaciones:

Ensayo No. 11.

RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR IMPACTO Y ABRASIÓN EN LA MÁQUINA LOS ANGELES.

Basado en norma AASHTO: T 96 -2002

Con equivalencia en ASTM: C 131-2001

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Describir en forma general el procedimiento para realizar el ensayo.
- Determinar el porcentaje de desgaste del agregado.

2. ALCANCE

2.1 Esto método de ensayo cubre el procedimiento para ensayar tamaños de agregado grueso menores que 37.5 mm (1 1/2 pulg) para determinar la resistencia al desgaste usando la máquina de los Angeles (**NOTA 1**)

NOTA 1- Un procedimiento para ensayar agregado grueso mayor que 19.mm (3/4 pulg) es cubierto en el método de ensayo ASTM C 535.

2.2 Los valores en unidades SI son considerados como estándar. Los valores dados en paréntesis son solo de información.

2.3 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS.

3.1 Normas AASHTO:

T 27 Método de Ensayo para Análisis por Tamizado de Agregados Grueso y Fino.

T 248 Práctica para Reducir Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo.

T 2 Práctica para Muestreo de Agregados.

M 92 Especificación para Tamices de Tela Metálica y para Propósitos de Ensayos.

3.2 Normas ASTM:

C 125 Terminología Relacionada a Concreto y Agregados para Concreto.

C 535 Método de Ensayo para la Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Grande por Impacto y Abrasión en la Máquina los Angeles.

C 670 Practica para Informes de Precisión y Error para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

4. TERMINOLOGIA

4.1 *Definiciones.*— Para definiciones de términos utilizados en este método de ensayo, refiérase a la terminología ASTM C 125.

4.2 *Masa Constante.*— Seque la muestra de ensayo a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta una condición tal que no pierda más del 0.1 por ciento de humedad, después de dos horas adicionales de secado a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Tal condición puede verificarse determinando la masa de la muestra antes y después de dos horas sucesivas de período de secado. En lugar de tal determinación, las muestras pueden considerarse que han alcanzado su masa constante cuando han sido secadas a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) por un período igual o mayor, lo que previamente se ha encontrado adecuado para producir la condición de masa constante bajo condiciones iguales de carga o más pesadas acondicionadas en el horno.

5. RESUMEN DEL METODO DE ENSAYO

5.1 Este ensayo es una medida al desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar resultado de una combinación de acciones que incluye la abrasión o el desgaste, impacto, y desintegración en un tambor de acero rotatorio que contiene un número especificado de esferas de acero, el número de esferas depende de la graduación de la muestra de ensayo. A medida que el tambor gira, una lámina del estante recoge la muestra y las esferas de acero, llevándolos de un lado hacia el otro hasta dejarlos caer en

el lado opuesto del tambor, creando un efecto de aplastamiento e impacto. Los contenidos entonces ruedan dentro del tambor con una acción de desgaste y pulverización, hasta que la lámina del estante recoge la muestra y las esferas de acero, en ciclos repetitivos. Después del número prescripto de revoluciones, los contenidos son removidos del tambor y la porción del agregado es tamizada para medir el desgaste como un porcentaje de perdida.

6. SIGNIFICADOY USO

6.1 Este ensayo ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la comparación de varias fuentes de agregado que tengan similar composición mineral. El resultado automáticamente no permite comparaciones válidas para ser hechas entre fuentes claramente diferentes en origen, composición, o estructura. Asigne límites de especificación con mucho cuidado considerando los tipos disponibles de agregados y su desempeño histórico en los usos específicos para cada fin.

7. EQUIPO

7.1 *Máquina de los Angeles.*— Se utilizara una Máquina de los Angeles equipada con un contador y conforme a las características esenciales del diseño mostrado en la **Fotografía E 11.3**, será utilizado. La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrada en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 pulg) y un largo interno de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 pulg). El cilindro estará montado en columnas y sujetado por pines en el eje en sus extremos pero estos no entraran en el, de tal modo que pueda girar sobre su eje en una posición horizontal dentro de una tolerancia en la inclinación de 1 a 100. Una abertura en el cilindro estará provista para poder introducir muestra de ensayo. Una cubierta adecuada, estará provista para abrirse ajustadamente fijándola con pernos en su lugar. La cubierta será entonces diseñada manteniendo el contorno cilíndrico de la superficie interior a menos que el estante este localizado para que la carga no caiga sobre la cubierta, o entre en contacto con ella durante el ensayo. (*) Un estante acerado desmontable se extenderá a lo largo del cilindro

para que entre 5 mm (0.2 pulg), proyectado hacia el interior a 89 ± 2 mm (3.5 ± 0.1 pulg) y será colocado sobre la superficie cilíndrica interior del cilindro, o en la superficie interior de la cubierta, de tal manera que se centre en un plano entre las caras y coincida en un plano axial. El estante será de tal espesor y estará sostenido, por pernos u otra manera adecuada, el cual debe estar hecho de forma rígida y firme. La posición del estante (**NOTA 2**) será tal que la muestra y las esferas de acero no impactaran cerca de la abertura y su cubierta, y que la distancia del estante a la abertura, medido a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro en la dirección de rotación, no estará a menos de 1270 mm (50 pulg). Inspeccione el estante periódicamente para determinar que no está doblado a lo largo, o de su posición radial normal, con respecto al cilindro. Si cualquier condición es encontrada, repare o reemplace el estante antes de realizar más ensayos.

NOTA 2 - El uso de un estante de acero resistente al desgaste, rectangular en sección transversal y colocado independientemente en la cubierta, es preferido. Sin embargo, un estante consiste de una sección de ángulo laminado, adecuadamente colocado en el interior de la placa de la cubierta, puede ser usado para proveer la dirección de rotación tal que la carga sea recogida en la cara exterior del ángulo.

NOTA 3 - Debido a su masa, la ubicación del estante en posición de descanso influye al abrirlo. La localización del estante debe estar en una posición adecuada para proveer la abertura y facilitar la colocación del agregado y la carga de las esferas, evitando el impacto en la cubierta.

7.1.1 La máquina será accionada y contrabalanceada para mantener una velocidad uniforme (**NOTA 4**). Si un ángulo es utilizado como el estante, la dirección de rotación será tal que la carga sea recogida en la superficie exterior del ángulo.

NOTA 4 - Falta de rectificado o desplazamientos en el mecanismo de conducción, es muy probable que proporcionen resultados de ensayos que no son duplicados por otras Maquina de los Ángeles que producen una velocidad periférica constante.

7.2 *Tamices*.— De acuerdo con AASHTO M 92.

7.3 *Balanza*.— Una balanza o bascula con una precisión de 0.1 % de la carga de ensayo, en el rango requerido para este ensayo.

7.4 *Horno*.— El horno será capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 ºC (230 ± 9 ºF).

7.5 *La carga*.— La carga consistirá de esferas de acero de diámetro promedio de aproximadamente 46.8 mm (1 27/32 pulg) y cada una tendrá una masa de entre 390 y 445 g.

7.5.1 La carga, (**NOTA 5**) depende de la graduación de la muestra de ensayo, como se describe en la sección 9, y será como muestra en la **Tabla E 11.1**:

Tabla E 19.1.0. **Graduación y masa de la carga**

Graduación	Numero de Esferas	Masa de la Carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330± 25
D	6	2500± 15

NOTA 5- La relación de las esferas de acero de 46.0 mm (1 13/16 pulg) y 47.6 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, tiene una masa de aproximadamente 400 y 440 g., respectivamente, pueden estar disponibles. Esferas de acero de 46.8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro que tienen una masa de aproximadamente 420 g también pueden obtenerse. La carga puede constar de una mezcla de estos tamaños conforme a las tolerancias de las masas de la sección 7.5 y 7.5.1.

Tabla E 11.2 **Graduaciones de las muestras de ensayo**

Tamaño del Tamiz		Masas de los tamaños indicados, g.			
Pasa mm (pulg)	Retenida en mm (pulg)	Graduación			
		A	B	C	D
37.5 (1 ½)	25.0 (1)	1250 ± 25	-----	-----	-----
25.0 (1)	19.0 (¾)	1250 ± 25	-----	-----	-----
19.0 (¾)	12.5 (½)	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
12.5 (½)	9.5 (3/8)	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
9.5 (3/8)	6.3 (¼)	-----	-----	2500 ± 10	-----
6.3 (¼)	4.75 (No. 4)	-----	-----	2500 ± 10	-----
4.75 No. 4	2.36 (No. 8)	-----	-----	-----	5000 ± 10
	TOTAL	**5000 ± 10**	**5000 ± 10**	**5000 ± 10**	**5000 ± 10**

8. MUESTREO

8.1 Obtenga una muestra de campo de acuerdo con AASHTO T 2, y reduzca la muestra de campo a tamaño de ensayo de acuerdo con la practica AASHTO T 248.

9. PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYO

9.1 Lave (ver **Fotografía E 11.1**) y seque en el horno la muestra reducida a 110 ± 5° C (230 ± 9° F) hasta una masa de tamaño sustancialmente constante, ver **Fotografía E 11.2** (ver sección 9.1.1), separe en fracciones individuales según la **Tabla E 11.2** y recombine graduación lo más cercano al rango correspondiente al tamaño de los agregados proporcionados para el trabajo. Anote la masa de la muestra antes de realizar el ensayo, con aproximaciones de 1 g.

Fotografía E 11.1. **Muestra adecuadamente lavada**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

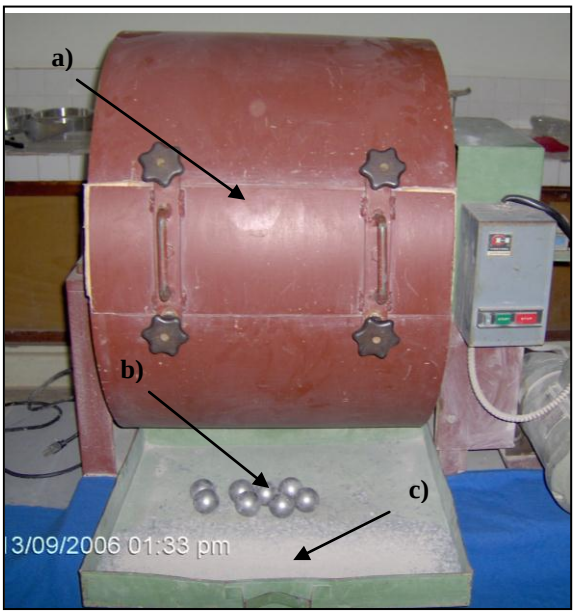
Fotografía E 11.2 **Muestra secada en el horno.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

10. PROCEDIMIENTO

10.1 Coloque la muestra de ensayo y la carga en la máquina de los Angeles y gire la máquina a una velocidad de 30 a 33 r/min para 500 revoluciones. (**NOTA 6**) Después del número prescripto de revoluciones descargue el material de la máquina (ver **Fotografía E 11.3)** y haga una separación preliminar de la muestra en un tamiz más grueso que el de 1.70 mm (No.12). Tamice la porción más fina en el tamiz 1.70 mm (No. 12). de acuerdo al método de ensayo AASHTO T 27. Lave el material más grueso que el tamiz de 1.70 mm y seque en el horno a 110 ± 5° C hasta obtener una masa sustancialmente constante (ver sección 10.1.1) y determine su masa con aproximación de 1 g. (**NOTA 7**).

10.1.1 Si el agregado está esencialmente libre de recubrimientos adherentes y polvo, el requisito de lavado después del ensayo puede ser descartado, pero el secado antes del ensayo siempre será requerido. Sin embargo, en caso de estar especificado, el procedimiento de lavado será realizado.



Fotografía E 11.3

a) Maquina de los Angeles
b) Carga Abrasiva
c) Muestra ensayada.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía E 11.4 **Muestras lavadas y tamizadas por el tamiz No. 12.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 6 – Evalué la información concerniente a la uniformidad de la muestra bajo ensayo, la cual puede ser obtenida determinando las perdidas después de 100 revoluciones. Estas perdidas serán determinadas sin lavar el material mas grueso que el tamiz de 1.7 mm. La relación de la perdida después de 100 revoluciones a la relación de la perdida después de 500 revoluciones no deberá exceder de 0.2 para materiales de dureza uniforme. Cuando se ha determinado, tenga cuidado evitando perdidas ende cualquier parte de la muestra, regrese la muestra completa, incluyendo el polvo de la fracturación, la maquina de ensayo para las ultimas 400 revoluciones requeridas para completar el ensayo.

NOTA 7 – Eliminar el lavado después del ensayo, rara vez reducirá la medida por perdida por mas de 0.2% de la masa de la muestra original.

11. CALCULOS

11.1 Calcule las perdidas (diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra de ensayo) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Reporte este valor como este valor como el porcentaje en perdida. (**NOTA 8**).

NOTA 8- El Porcentaje en perdida determinado por este método de ensayo no tiene una relación consistente al porcentaje de perdida para el mismo material cuando es ensayado por el método ASTM C 535.

12. REPORTE

12.1 Reporte la siguiente información:

12.1.1 Identifique el agregado con la fuente, tipo, tamaño máximo nominal.

12.1.2 La graduación designada de la **Tabla 2** utilizada para el ensayo.

12.1.3 Perdida por abrasión e impacto de la muestra expresada con 0.1 % de aproximación de la masa.

13. PRECISION Y ERROR

13.1 Para agregado grueso de tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4 pulg), el porcentaje de perdida en el rango de 10 45 % el coeficiente multilaboratorio ha sido encontrado de 4.5%. Por lo consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente en dos laboratorios diferentes en muestras del mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno del otro por mas del 12.7% de su promedio. El coeficiente de variación de un solo operador ha sido encontrado de 2%. Por lo consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo operador en el mismo agregado grueso no deberán diferir el uno del otro por mas del 5.7% de su promedio.

13.2 *Error*.- Debido a que no hay material de referencia adecuado aceptado para determinar el error por este procedimiento, no se hace ningún informe de error.

14. PALABRAS CLAVES

14.1 Abrasión; Agregado (Grueso, tamaño pequeño); degradación; impacto; Maquina de los Angeles.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE DESGASTE

(AASHTO T 96-02, ASTM C 131-01))

Solicitante:	Universidad de El Salvador	Material:	Agregado 1/2"-1/4"
Proyecto:	Trabajo de graduación	Laboratorista:	Hugo Guzman
Procedencia:	Cantera Colima	Fecha de recepción:	Agosto 2007
Ubicación:	Carretera a Chalatenango	Fecha de ensayo:	Agosto 2007
Encargado:			

	Tamizado	Lavado
Ensayo No.		
Tipo de graduación	C	C
Peso de tara (g)	200	200
M -1 Pasa malla *3/8"* se retiene en *1/4"*	2500	2500
M -2 Pasa malla *1/4"* se retiene en *No. 4*	2500	2501
Peso inicial (M -1 + M - 2 lavado y seco) (g)	5000	5000
Peso final + tara (g)	4406	4394
Peso final (g)	4206	4194
Perdida (g)	794	806
% de Desgaste	16	16

Observaciones:
Hay dos columnas diferentes una por lavado y otra por tamizado, que corresponde al tamizado en seco, para poder comparar las diferencias entre ambos procedimientos.

CAPITULO III: LIGANTES ASFALTICOS

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 LIGANTES ASFÁLTICOS.

Dentro del nombre genérico de ligantes asfálticos se incluyen materiales de distinta procedencia, los asfaltos y los alquitranes, que tienen en común su aspecto y una serie de propiedades aglomerantes. Ambos son materiales termoplásticos, viscosos, su color es negro y están formados por una mezcla compleja de hidrocarburos.

Actualmente en carreteras se usa el asfalto, que puede ser de origen natural (rocas o lagos asfálticos) o artificial el cual es un producto de la refinación del petróleo crudo, como se muestra en la **Figura 3.1.**

Dadas sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, tiene gran variedad de aplicaciones en la construcción de pavimentos flexibles como por ejemplo, mezclas asfálticas, bases estabilizadas, riegos de sello, emulsiones asfálticas, asfaltas diluidos (o cutback), riegos de liga, riegos de impregnación, entre otros.

El empleo de asfaltos naturales, tiene una limitada utilización aunque son por lo general de excelente calidad, con la incorporación de este tipo de asfaltos a las mezclas asfálticas, se logran construir pavimentos muy resistentes a las deformaciones plásticas y a la vez pueden tener una alta flexibilidad.

La mayoría de los asfaltos son semisólidos o sólidos a temperatura ambiente, su manipulación requiere un previo calentamiento, con la finalidad de reducir su consistencia a un valor admisible para la operación deseada. El calentamiento se realiza en depósitos apropiados, convenientemente protegidos y aislados, en camiones cisterna o en camiones con tanques regadores, con equipos de serpentines de aceite, quemadores o con bombas en circuito cerrado para evitar sobrecalentamientos.

3.1.2 DEFINICIÓN DE ASFALTOS.

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presentan en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los pavimentos flexibles, denominados también pavimentos asfálticos o pavimentos bituminosos, en virtud de este dúctil, flexible y tenaz material que los constituye y caracteriza.

Casi todo el asfalto usado es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado a temperatura muy elevada y/o es envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

3.1.3 ORIGEN Y NATURALEZA DEL ASFALTO.

A veces hay confusión acerca del origen del asfalto, de cómo es refinado, y cómo se clasifica en sus diferentes grados. Esto se debe a que el asfalto es usado para muchos propósitos. Existe una confusión similar respecto a ciertos términos relacionados con las propiedades del asfalto. En esta sección se da una breve reseña del origen y naturaleza del asfalto de pavimentación, ya estos pueden presentar dos orígenes; naturales y los derivados del petróleo.

3.1.3.1 Asfaltos naturales

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente.

Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizados en pavimentación.

Estos Asfaltos Nativos, sólidos o semisólidos pueden clasificarse como:

1) Puros o casi puros.

Asfalto del lago Bermúdez. (ver fotografía 3.1a)

2) Asociados con materia mineral.

Asfaltos del lago Trinidad. (ver fotografía 3.2)

Asfaltos del lraq, Boeton y Selenitza.

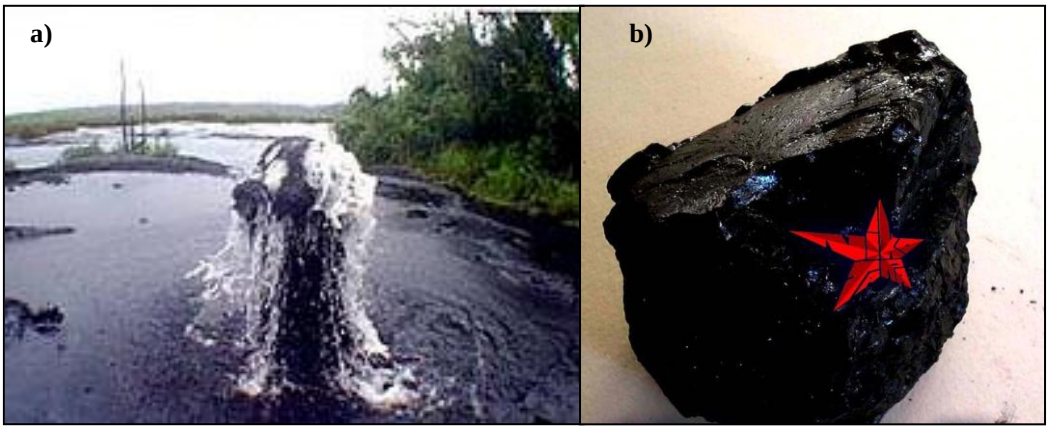
Asfaltos de roca europeos y americanos.

3) Asfaltitas duras.

Gilsonita (ver **Fotografía 3.1.b**)

Grahamita

Pez lustrosa, Manjak



Fotografía 3.1.

Asfalto en estado natural:
a) Lago de asfalto en Guanaco, Venezuela conocido también como lago Bermudez.
b) Fragmento de Gilsonita.

Fotografía tomada de WWW.skyscrapercity.com

Fotografía 3.2.

Asfalto en estado natural del lago Trinidad ubicado en la isla de Trinidad.

El asfalto del lago Bermúdez se presenta en el lago del mismo nombre, en Venezuela. Este se ha empleado en la fabricación de asfalto emulsificado para carreteras y calles, en tejados y como impermeabilizante. El asfalto del lago Trinidad se presenta en el lago de asfalto del lago de la isla Trinidad y es considerado como el depósito más importante de asfalto natural en todo el mundo. Este asfalto es bastante duro y hay

que extraerlo usando maquinaria especial para dicho fin, tanto así que resulta apto para soportar el ferrocarril que sirve como medio de transporte en la zona.

Los principales yacimientos de roca asfáltica están en Europa y Norteamérica, pero hay depósitos en todo el mundo. Las rocas asfálticas se usan para pavimentar calles. Se mezclan uno o varios asfaltos de roca pulverizados para obtener una composición media, se extiende la mezcla, se aplica calor si es necesario, y por medio de presión se iguala la superficie. La roca pulverizada se mezcla con asfalto del lago Trinidad u otros asfaltos para obtener un mástique que es mucho más rico en betún que las mezclas de rocas. La gilsonita o caucho mineral, sólo se presenta naturalmente en la cuenca del río Uintah, en Utah y Colorado, Estados Unidos. Es uno de los bitúmenes naturales más puros que se conocen y se distingue fácilmente de las demás rocas asfálticas por su color pardo, su peso específico más bajo, su contenido fijo de carbono y poco azufre.

3.1.3.2 Refinación de petróleo.

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura. Como puede verse en el **Grafico 3.1**, las diferentes fracciones se separan a diferentes temperaturas.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados mas pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Como se indica en el **Grafico 3.1**, el asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480 ºC (900 ºF). Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se este refinando, o del grado de asfalto que se este produciendo.

La **Figura 3.1** es una ilustración esquemática de una refinería típica. Esta figura muestra el flujo de petróleo durante el proceso de refinación.

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos

de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario. Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. Como se discutió anteriormente, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual. Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre si, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

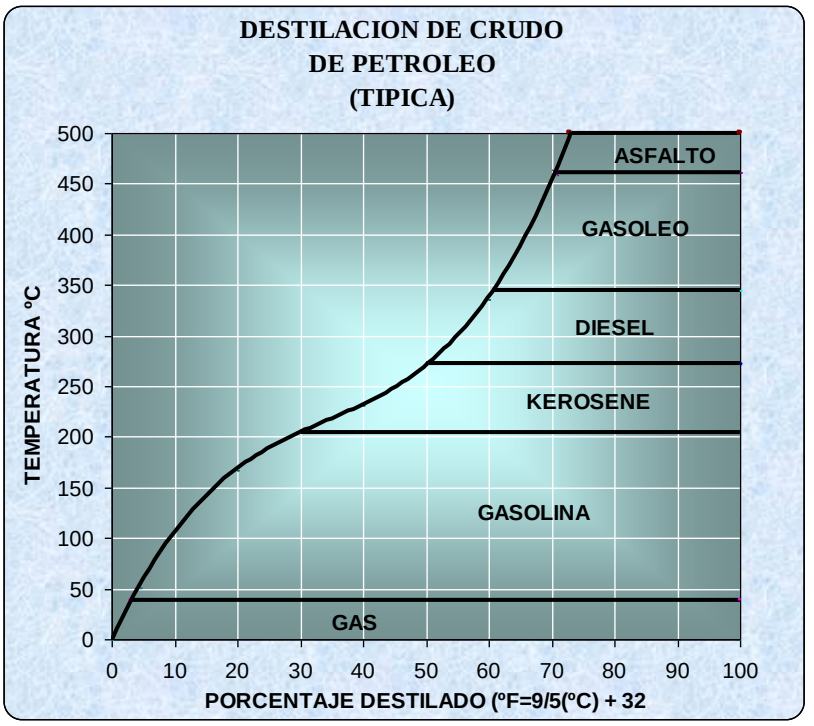


Grafico 3.1. **Productos y Temperaturas Típicas de Destilación.**

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

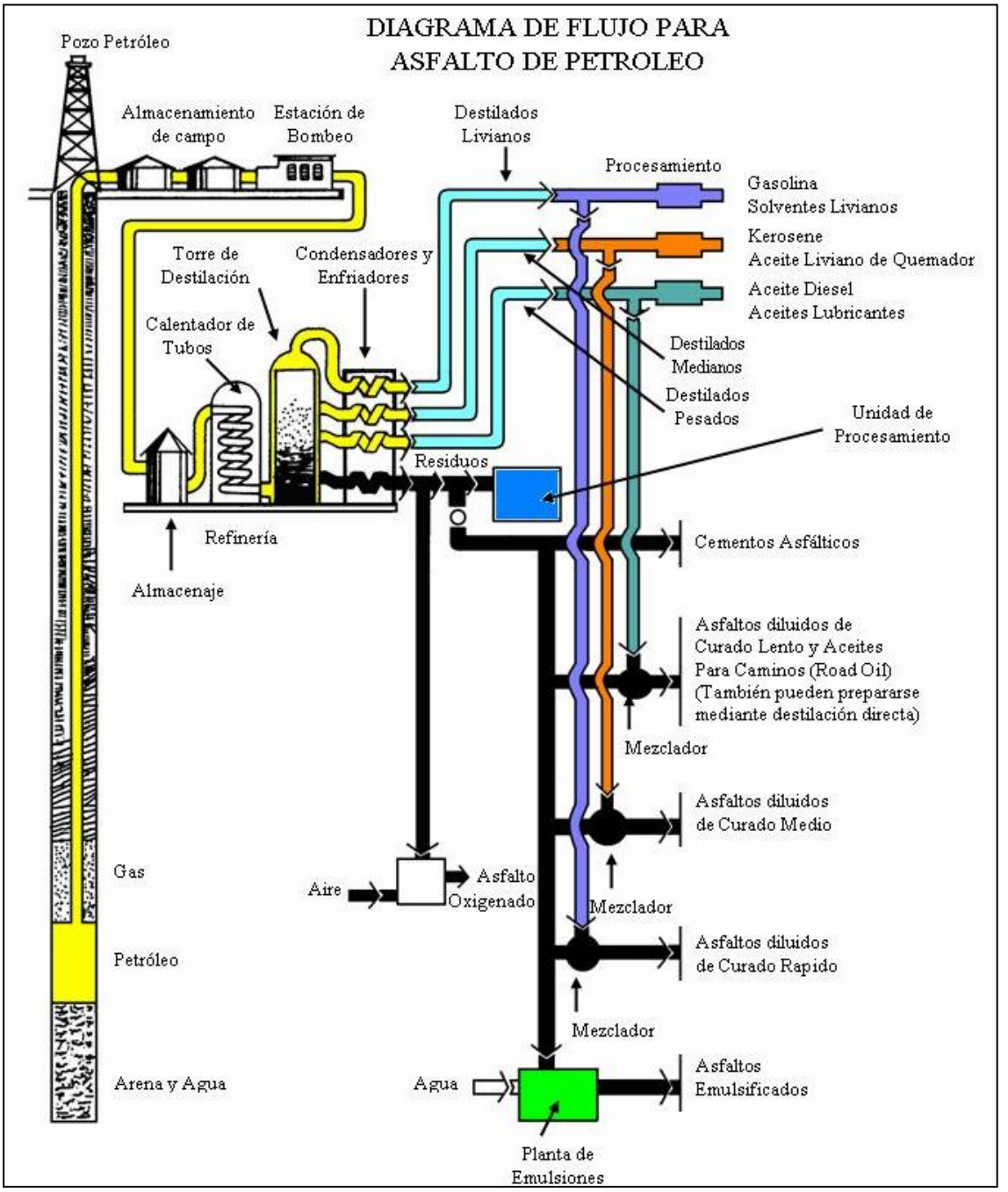


Figura 3.1. **Diagrama de Fabricación de los productos asfálticos.**

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

3.2 CUALIDADES DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS.

Se mencionarán las cualidades que los hacen tan apreciables en el campo de construcción y mantenimiento de vías de comunicación.

3.2.1 PODER AGLOMERANTE.

Los ligantes asfálticos tienen la propiedad de bajar su viscosidad con la temperatura, de tal modo que se convierte en una sustancia fluida que se adhiere y envuelve con mucha facilidad a los agregados pétreos, al tiempo que los aglomera.

Este poder aglomerante del asfalto, aumenta al enfriarse y se incrementa la superficie de contacto entre las partículas mediante la compactación, dando lugar a una mezcla asfáltica de características particulares para la construcción de cada una de las diferentes capas del pavimento, en especial, de base, intermedia y rodadura.

3.2.2 AGENTE ESTABILIZANTE.

Los ligantes asfálticos al ser usados como estabilizadores en materiales granulares, dan como resultado una alta estabilidad, por lo que son considerados al igual que el cemento, la cal y otros conglomerantes hidráulicos (agentes estabilizantes que permiten dar dureza, cohesión y resistencia a los materiales granulares sueltos).

La principal diferencia entre los aglomerantes asfálticos y los conglomerantes hidráulicos es que mientras éstos últimos dan lugar a materiales con una alta resistencia, de comportamiento elástico, frágiles e insensibles a la temperatura, los otros, se caracterizan por una menor resistencia y un comportamiento que depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga, pueden asumir deformaciones pequeñas por largos periodos de tiempo permitiendo adaptarse a los pequeños asientos y deformaciones que experimentan las capas inferiores del pavimento.

El poder aglomerante y estabilizante del asfalto se ve también grandemente modificado y mejorado al mezclarse con el filler, teniendo una gran repercusión la calidad del mastico sobre el comportamiento de la mezcla. Es por ello que a los pavimentos constituidos por capas granulares y mezclas asfálticas se les conoce como pavimentos flexibles, frente a

los constituidos por capas de concreto, más elásticas e indeformables, que se denominan pavimentos rígidos.

3.2.3 AGENTE IMPERMEABILIZANTE.

Los ligantes asfálticos recubren a los materiales granulares a través de una capa impermeable haciendo inaccesible el paso del agua, al mismo tiempo que se logra conseguir el relleno de los huecos dejados por el material granular, con lo que se obtienen materiales totalmente impermeables.

3.2.4 MANEJABILIDAD.

El ligante asfáltico por sus propiedades, al ser calentado se vuelve fácil de mezclar, colocar y compactar.

3.2.5 RESISTENCIA A LOS AGENTES ATMOSFÉRICOS.

El asfalto es un material muy inerte químicamente e insoluble en agua, por ello las mezclas asfálticas no generan ningún compuesto contaminante por lixiviación (proceso en el cual una sustancia se disuelve en un líquido y se filtra a capas inferiores o escurre a fuentes de agua) y su composición permanece prácticamente inalterable en el tiempo. Se debe tener en cuenta su envejecimiento debido a la acción del oxígeno del aire y los rayos ultravioleta. Esta oxidación junto con la evaporación de sus componentes más volátiles hace que el asfalto vaya perdiendo tenacidad y se convierta en un producto más frágil. El mayor envejecimiento y oxidación del asfalto se produce durante su fabricación y puesta en obra.

3.3 CLASIFICACION, PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DEL ASFALTO.

3.3.1 CLASIFICACIÓN Y TERMINOLOGÍA DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS.

Además de los ligantes asfálticos procedentes de la destilación del petróleo, existen otros materiales hidrocarbonados que también tienen propiedades aglomerantes. Según el Comité Europeo de Normalización (Terminology of Bituminous Binders), establece la siguiente clasificación y terminología.

3.3.1.1 Ligante hidrocarbonado.

Término genérico para materiales adhesivos conteniendo asfalto, alquitrán o una mezcla de ambos.

3.3.1.2 Ligante asfáltico.

Término genérico aplicado a cualquier material adhesivo conteniendo asfalto.

3.3.1.3 Asfaltos industriales.

Usados en otros campos distintos de la construcción y mantenimiento de carreteras.

3.3.1.4 Asfaltos fluxados.

Se han desarrollado para aplicaciones muy específicas, en los cuales el fluxante no es un derivado del petróleo sino que proviene del proceso de destilación de la hulla. Su viscosidad ha sido reducida por el empleo de un aceite fluidificante.

3.3.1.5 Asfaltos para pavimentación.

Tipo de asfalto empleado para la fabricación de mezclas asfálticas usado básicamente en construcción y mantenimiento de pavimentos.

Los asfaltos para pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales: Cemento asfáltico, asfaltos diluidos (cut back) y asfaltos emulsificados

3.3.1.5.1 Cemento asfáltico.

Es un material termoplástico, reológico, que posee propiedades aglutinantes, impermeabilizantes y características de flexibilidad; así como de alta resistencia a la acción de la mayoría de ácidos, sales y álcalis.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, según la especificación AASHTO M 226 (ver **Tabla 3.1**), viscosidad después de envejecimiento, AASHTO M 226 (ver **Tabla 3.2**) y penetración según la especificación AASHTO M 20 (ver **Tabla 3.3**). Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferentes rangos de consistencia.

El sistema más usado en los Estados Unidos esta basado en la viscosidad del asfalto. En nuestro país se utiliza la clasificación por penetración. Algunas de las agencias, hoy día, han modificado los parámetros del sistema para poder cumplir con necesidades específicas. Por lo tanto el inspector debe usar, como referencia, las especificaciones asfálticas de su propia agencia.

En el sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Refiriéndose a la **Tabla 3.1.**, observe que cuanto más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto. El AC-2.5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60ºC o 1 40ºF) es conocido como un asfalto "blando". El AC-40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60ºC o 1 40ºF) es conocido como un asfalto "duro".

Varios estados del Oeste, en Estados Unidos, clasifican el asfalto de acuerdo a su viscosidad después de envejecido. La idea es identificar cuales serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más, la unidad normal de medida es el poise. La **Tabla 3.2.** identifica los posibles grados bajo este sistema.

En la **Tabla 3.2.**, la abreviación "AR" corresponde a "Residuo Envejecido." Obsérvese que el AR- 10 (viscosidad de 1000 poises) se conoce como un asfalto "blando", mientras que el AR160 (viscosidad de 16000 poises) se conoce como un asfalto "duro".

El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. Este método es el que

se utiliza en nuestro país para la clasificación de asfaltos. El ensayo de penetración es explicado en la guía de ensayo No. 15. Una aguja cuyas medidas deben encontrarse según la norma, se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200-300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones especificas, de 200 a 300 décimas de milímetro. Esto es indicación de un asfalto "blando". Un grado 40-50, por otro lado, es indicación de un asfalto "duro" en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro. La **Tabla 3.3.** muestra los distintos grados incluidos bajo este sistema.

Las tablas muestran, en los tres sistemas, propiedades que van más allá de viscosidad y penetración - propiedades como ductilidad, punto de inflamación, etcétera. Estas propiedades, y los ensayos correspondientes, serán discutidos más adelante en esta sección.

En algunas especificaciones técnicas, como es el caso de las peruanas, se dan ciertos criterios para poder utilizar los distintos tipos de cemento asfáltico según la temperatura media anual de la región, esto se ilustra en la **Tabla 3.4.**

Tabla 3.1. **Requisitos para cemento asfáltico clasificado por su viscosidad a 60 ° C (140 ° F) (Clasificación basada en asfalto original).**

Tomado de Norma AASHTO designación M226

Ensayos	Grado de viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C (140°F), Pa-s (Poises)	25 ±5 (250 ±50)	50 ±10 (500±100)	100 ±20 (1000±200)	200 ± 40 (2000±400)	300 ± 60 (3000 ±600)	400 ± 80 (4000 ±800)
Viscosidad, 135°C (275°F), mm^2/s — mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetracion, 25°C (77°F), 100 g, 5 s — mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, COC, °C (°F)— mínimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232 (450)	232 (450)
Solubilidad in tricloroetileno, en porcentaje — mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película delgada en horno:						
Perdida por calentamiento, en porcentaje-máximo (opcional)[a]		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60°C (140°F), Pa-s (Poises) — máximo	100 (1000)	200 (2000)	400 (4000)	800 (8000)	1200 (12000)	1600 (16000)
Ductilidad, 25°C (77°F), 5 cm/min, cm — mínimo	100[b]	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique)[c] con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta-xileno, en porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, en porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados					

[a] El requerimiento de perdida por calentamiento es opcional.

[b] Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6 ° C (60 ° F) es 100 mínimo.

[c] El uso de la prueba rápida es optativo. Cuando sea especificado, el ingeniero indicará si el solvente estándar de nafta, el solvente de xileno - nafta, el solvente de xileno - heptano será usado para la determinación de conformidad con lo requerido, y también, en el caso de solventes del xileno, que porcentaje de xileno será usado.

Tabla 3.2. **Requisitos para cemento asfáltico clasificado por su viscosidad a 60 ° C (140 ° F) (Clasificación basada para residuos de ensayos de película delgada en horno rotatorio).**

Tomado de Norma AASHTO designación M226

Ensayos en residuos del método de ensayo AASHTO T 240[a]	Grado de viscosidad				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60°C (140°F), Pa·S (Poises)	100 ±25	200 ± 50	400 ± 100	800 ± 200	1600 ±400
	(1000 ± 250)	(2000 ± 500)	(4000 ± 1000)	(8000 ±2000)	(16000±4000)
Viscosidad, 135°C (275°F), mm^2/s — minimo	140	200	275	400	550
Penetracion, 25°C (77°F), 100 g, 5 s— minimo	65	40	25	20	20
Porcentaje de penetración original, 25°C (77°F) — mínimo	—	40	45	50	52
Ductility, 25°C (77°F), 5 cm/min, cm — minimo	100[b]	100[b]	75	75	75
Pruebas en asfalto original:					
Punto de inflamación, COC, °C (°F)— minimo	205(400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubilidad de tricloroetileno, en porcentaje — mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

[a] AASHTO T.179 (Prueba de película delgada en horno) puede ser usado, pero AASHTO T 240 será el método de referencia.

[b] Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6 ° C (60 ° F) tiene un valor mínimo de 100.

Tabla 3.3. **Requisitos específicos para cemento asfáltico clasificado por penetración.**

Tomado de Norma AASHTO M20

Pruebas	Grado de penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetración a 25ºC (77ºF), 100g, 5 seg.	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Ensayo Cleveland,ºC (ºF)	232 (450)	—	232 (450)	—	232 (450)	—	218 (425)	—	177 (350)	—
Ductilidad a 25ºC (77ºF), 5cm/min,cm	100	—	100	—	100	—	100	—	—	—
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	99	—	99	—	99	—	99	—	99	—
Prueba en horno de película delgada(TFO), 3.2mm(1/8in.),163ºC (325ºF), 5 horas Perdida por calentamiento, porcentaje	—	0.8	—	0.8	—	1.0	—	1.3	—	1.5
Penetración del residuo, porcentaje del original	58		54	—	50	—	46	—	40	—
Ductilidad de residuo a 25ºC(77ºF), 5cm/min, cm	—	—	50	—	75	—	100	—	100	—
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con:										
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									

Nota: El uso de la prueba de mancha es optativo. Cuando sea especificado, el ingeniero deberá indicar si será utilizado el solvente normal de nafta, el solvente de nafta-xileno, o el solvente de heptano-xileno para determinar en conformidad con los requisitos, y también, en el caso de los solventes de xileno, el porcentaje de xileno a ser usado.

Tabla 3.4. **Criterios para el tipo de asfalto que debe utilizarse dependiendo de la temperatura media anual (la nomenclatura del asfalto es por penetración y el valor entre paréntesis es su equivalente por viscosidad).**

Tomado de las especificaciones del ministerio de transporte y comunicaciones del perú

Temperatura media anual			
24 ºC o más	**24 ºC – 15 ºC**	**15 ºC – 5 ºC**	**Menos de 5 ºC**
40 – 50 (AC-30) o 60 – 70 (AC-20) o Modificado	60 – 70 (AC-20)	85 – 100 (AC-10) o 120 – 150 (AC-5)	Asfalto Modificado

También en otros métodos de diseño como el Superpave se específica según el grado de desempeño del pavimento clasificando el asfalto en un intervalo de temperaturas medias anuales. Por ejemplo en la **Tabla 3.5.** un asfalto PG 46-34 tiene la siguiente designación PG de "performance grade" o sea grado de desempeño en español, el primer número es la temperatura media anual más alta que probablemente se encuentre en dicha región, y -34 la temperatura media anual más baja que probablemente se encuentre en dicha región, estas temperaturas se encuentran por estudios meteorológicos en el lugar del proyecto y se toman para una confiabilidad del 98% de que esa temperatura no será rebasada cuando se encuentre el pavimento en servicio; luego el asfalto es ensayado según las especificaciones para Superpave, las que dan un solo valor límite para cada ensayo y la única que varía es la temperatura del ensayo según la temperatura media anual más alta (64 ºC) y la más baja (-34 ºC). Para el caso de este documento no se abordarán dichos ensayos ya que corresponden a una metodología de diseño muy diferente al método Marshall y sólo se mencionan todos los grados de asfalto que hay según este sistema de clasificación en la **Tabla 3.5**.

3.3.1.5.2 Asfaltos diluídos ó "Cutback".

Los asfaltos diluidos también son conocidos como asfaltos líquidos, asfaltos fluidificados, asfaltos rebajados. Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida por lo que se salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración,

cuyo límite máximo es 300. Se obtienen por disolución de los mismos en un aceite o fluidificante, teniendo por lo tanto una viscosidad baja, se desarrollaron para facilitar el empleo de los asfaltos cuando las temperaturas o el tipo de tratamiento exigen viscosidades de aplicación menores a la que presentan los asfaltos normalmente calentándolos fuertemente. Su viscosidad ha sido reducida por la adición de un fluidificador volátil

Tabla 3.5. **Clasificación del asfalto según grados de desempeño la cual es una metodología exclusiva del método superpave.**

Alta temperatura	Baja temperatura
PG 46-	34, 40, 46
PG 52-	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG 58-	16, 22, 28, 34, 40
PG 64-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 70-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 76-	10, 16, 22, 28, 34
PG 82-	10, 16, 22, 28, 34

El fluidificante por lo general, no es más que un aditivo, que se elimina posteriormente por evaporación y que sirve para facilitar la puesta en obra, quedando al final el asfalto puramente. En el proceso de eliminación del fluidificante o llamado también proceso de curado, se pierde un producto de alto valor. Lo que supone una fuente de contaminación atmosférica, así como riesgos de inflamación por el carácter de los fluidificantes empleados, que en ocasiones requieren de un cierto calentamiento. En nuestro país los asfaltos fluidificados tienen un escaso empleo y un consumo muy limitado.

Estos pueden ser de tres tipos:

a) Curado rápido, se designan con las letras RC (Rapid Curing) seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centistokes (cSt), ejemplo un RC-250, en estos asfaltos normalmente se utilizan solventes con puntos de ebullición de la nafta y la gasolina, éste tipo de asfalto diluido está especificado bajo la norma AASHTO M 81.

b) Curado medio, que se designa con las letras MC (Medium Curing) seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centistokes, ejemplo un MC-70 en los que se utilizan solventes con puntos de ebullición en el rango del kerosene, este tipo de asfalto está especificado en la norma AASHTO M 82.

c) Curado lento, se designan por las letras SC (Slow Curing) seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centistokes, estos utilizan solventes con punto de ebullición del rango de los aceites livianos (como el gasoil o como se le conoce comúnmente diesel). La norma con la cual se especifica este asfalto es ASTM D 2026-97.

En los distintos tipos se ha ejemplificado la forma en que se designa cada tipo de asfalto diluido como en el RC-250, donde RC es el tipo de asfalto y 250 es el grado de viscosidad mínima en centistokes, si revisamos en la tabla 3.6 este grado tiene una viscosidad cinemática mínima de 250 cSt y una máxima de 500 cSt y así para cada tipo y grado de asfalto diluido. En las especificaciones para asfaltos se encuentran otros parámetros a tomar en cuenta para clasificar el asfalto diluido, pero no son mencionados en este documento por lo que se deben remitir a sus normas respectivas si se quieren conocer dichos parámetros.

3.3.1.5.3 Asfaltos emulsificados.

Una emulsión es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Por consiguiente una emulsión asfáltica es aquella en la cual la fase dispersa es asfalto y la continua es agua o una solución acuosa. Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte

hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso.

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alkilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. Esto puede apreciarse en la **Figura 3.2.**, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión catiónica y aniónica.

Tabla 3.6. **Clasificación de los asfaltos diluidos en los que se muestran los distintos grados y sus viscosidades cinemáticas límites que es uno de sus parámetros para clasificación.**

Tomado de ASTM D 2026-97, AASHTO M 81-92(2000) y AASHTO M 82-75(2000)

Asfalto diluido de curado lento		
Designación	Viscosidad Cinemática a 60ºC, cSt	
SC-70	70 mín.	140 máx.
SC-250	250 mín.	500 máx.
SC-800	800 mín.	1600 máx.
SC-3000	3000 mín.	6000 máx.
Asfalto diluido de curado medio		
Designación	Viscosidad Cinemática a 60ºC, cSt	
MC-30	30 mín.	60 máx.
MC-70	70 mín.	140 máx.
MC-250	250 mín.	500 máx.
MC-800	800 mín.	1600 máx.
MC-3000	3000 mín.	6000 máx.
Asfalto diluído de curado rápido		
Designación	Viscosidad Cinemática a 60ºC, cSt	
RC-70	70 mín.	140 máx.
RC-250	250 mín.	500 máx.
RC-800	800 mín.	1600 máx.
RC-3000	3000 mín.	6000 máx.

Las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas o catiónicas, las emulsiones catiónicas son más utilizadas en nuestro medio y pueden ser de rotura rápida (CRS-1), rotura media (CMS-2) y rotura lenta (CSS-1) según especificación AASHTO M 208 ó su equivalente ASTM D-2397. También existen las emulsione aniónicas que son especificadas en la norma AASHTO M 140 o su equivalente en ASTM D 977.

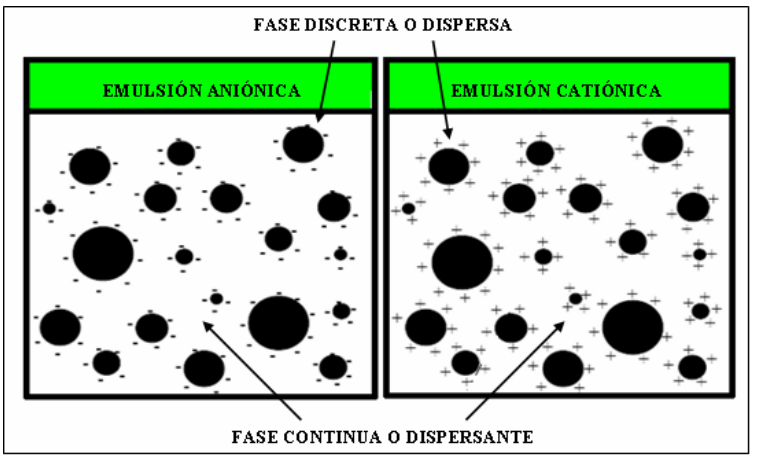


Figura 3.2. **Esquema de las dos fases en una emulsión asfáltica, siendo el asfalto la fase dispersa y el agua la continúa. Observar las diferencias entre una emulsión aniónica y una catiónica.**

La nomenclatura de las emulsiones es la siguiente RS (rapid setting) rotura rápida, MS (médium setting) rotura media, SS (slow setting) rotura lenta, QS (quick setting) rotura rápida QS. En ambos sistemas se tiene la misma nomenclatura para cada grado de emulsión anteponiéndose en las cationicas una letra "C", por ejemplo una emulsión aniónica de rotura rápida se escribe RS (Rapid Setting), mientras que la emulsión catiónica de rotura rápida se escribe CRS. Un número después del nombre de la emulsión es la viscosidad relativa de la emulsión y entre mayor sea este número mayor será su viscosidad. Cada tipo de emulsión se muestra en la tabla 3.6. También en las emulsiones las normas presentan muchas propiedades a ser evaluadas para poder clasificar la emulsión en estudio en un cierto grado, pero estas no son abordadas por lo que se deben remitir a las especificaciones respectivas.

Los asfaltos diluidos y los emulsificados son usados, casi por completo, en mezclas en frío y en riegos, y no se discutirán más en esta sección.

Tabla 3.7. **Clasificación de las emulsiones asfálticas.**

Tomado de Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS 19, ASPHALT INSTITUTE

Emulsión Asfáltica (ASTM D977, AASHTO M140)	**Emulsión Asfáltica Catiónica** (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1 (RR-1)	CRS-1 (RR-1)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	—
MS-1 (RM-1)	—
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	—
HFMS-2	—
HFMS-2h	—
HFMS-2s	—
SS-1 (RL-1)	CSS-1 (RL-1)
SS-1h	CSS-1h

En la **Tabla 3.8.** se proporcionan posibles valores de temperaturas de colocación y mezcla para diferentes tipos de asfaltos que se utilizan en pavimentación.

Tabla 3.8. **Rangos de Temperaturas de Aplicación (˚C)**

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

	Rangos de Temperatura	
Tipo y Grado de Asfalto	**En esparcido o Riego**	**En Mezclas Asfálticas (1)**
Asfaltos Diluidos:		
MC – 30	30 – (2)	-------
RC – 70 ó MC – 70	50 – (2)	-------
RC – 205 ó MC – 250	75 – (2)	60 – 80 (3)
RC – 800 ó MC – 800	95 – (2)	75 – 100 (3)
Emulsiones Asfálticas		
CRS – 1	50 – 85	--------
CRS – 2	60 – 85	--------
CMS – 2	40 – 70	50 – 60
CMS – 2h; CSS – 1; CSS – 1h	20 – 70	20 – 70
Cemento Asfáltico		
Todos los grados	**Nota 3.1**	**Nota 3.1**

(1) Temperatura de Mezcla inmediatamente después de Preparada.

Nota 3.1: En cementos asfálticos la temperatura de mezclado, colocación y compactación dependerá de la carta de viscosidad-temperatura del asfalto que se utilice.

3.3.1.5.4 Asfaltos modificados.

Es un asfalto al cual se le ha añadido de manera homogénea y estable, cierto porcentaje previamente analizado de algún tipo de aditivo, para mejorar sus propiedades reológicas.

El asfalto es un material como se sabe muy susceptible a los cambios de temperatura, sufre envejecimiento por intemperismo, es afectado por la oxidación y la fotodegradación. Sus propiedades mecánicas son muy pobres: es quebradizo a bajas temperaturas y fluye un poco arriba a la temperatura del medioambiente, además de tener una baja recuperación elástica, lo que limita ampliamente su rango de utilidad.

Por estas razones el material asfáltico en ocasiones tiene que ser modificado mediante la adición de un agente químico para mejorar sustancialmente sus propiedades reológicas, es decir, que mejoren su comportamiento para una amplia gama de condiciones de temperatura o de aplicación de las cargas. Encontrándose dentro de estos agentes:

- Los polímeros, como los que se mencionan en la **Tabla 3.9.**
- Fibras; como las minerales (fibras de amianto, de vidrio y lana de roca), orgánicas (fibras celulósicas) y sintéticas (fibras acrílicas y de propileno).
- Cal hidratada y cemento Pórtland.
- Silicones.
- Fillers.
- Complejos de metal.
- Sulfuro elemental.
- Agentes anti-strip orgánicos.

No se da una descripción más detallada de dichos aditivos, ya que este tema se encuentra fuera del alcance de este trabajo.

Tabla 3.9. **Polímeros Utilizados con Asfalto.**

Tipo de modificador	Ejemplo
Elastómeros: al estirarlos, a diferencia de los plastómetros, estos se vuelven a su posición original, es decir, son elásticos.	Natural (como; caucho natural, celulosa, glucosa, sacarosa, ceras y arcillas)
	SBS (estireno-butadieno-estireno o caucho termoplástico)
	SBR (estireno-butadieno-látex. Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de butadieno)
	EPDM (polipropileno atáctico)
	PBD (polietileno de baja densidad)
Plastómeros: al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la solicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.	EVA (etileno-acetato de vinilo)
	EMA (etileno-acrilato de metilo)
	EP (polietileno)
	PP (polipropileno)
	Poliestireno

3.3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO.

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Una breve introducción de las propiedades más importantes ayudará a entender la naturaleza de los pavimentos de mezclas en caliente.

Debe observarse que las **Tablas 3.1., 3.2. y 3.3.** describen los tres sistemas de clasificación de asfaltos y no mencionan composición química. Esto puede parecer sorprendente, debido a que la composición química es ciertamente uno de los medios usados, más precisos, para identificar las propiedades de cualquier sustancia. Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación:

i) En la actualidad no hay una prueba normal para composición química de asfaltos que sea aceptada mutuamente por los vendedores, los compradores y los usuarios del material.

ii) Los ensayos existentes para analizar composición química requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no esta disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfaltos.

iii) La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento es todavía incierta. Respecto a esto todavía hay muchas preguntas sin contestar.

De todas maneras, una breve descripción de la química del asfalto ayudará a entender la naturaleza del material.

Básicamente, el asfalto esta compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxigeno, nitrógeno y metales pesados como el níquel y el vanadio, todos de diferente peso molecular, solubles en sulfuro de carbono, que forman una solución coloidal. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. (Ver **Figura 3.3.**)

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza. Esta es la fase discontinua del asfalto y constituye la fracción pesada cuyo peso molecular oscila de 4000 a 7000.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas (ver **Figura 3.4.**). Los maltenos son la fase continua del asfalto y su peso molecular oscila entre 600 a 1000.

De acuerdo a lo anterior se pueden distinguir dos tipos de asfaltos dependiendo de la concentración de los asfaltenos:

1. Tipo Sol (movimiento libre de las micelas): tienen una menor proporción de asfaltenos, que se encuentran agrupados en cadenas homogéneas perfectamente dispersas en el medio aceitoso formado por los maltenos y sus propiedades varían considerablemente con la temperatura.

Experimentan fuertes deformaciones plásticas cuando se utilizan como ligante de una mezcla asfáltica.

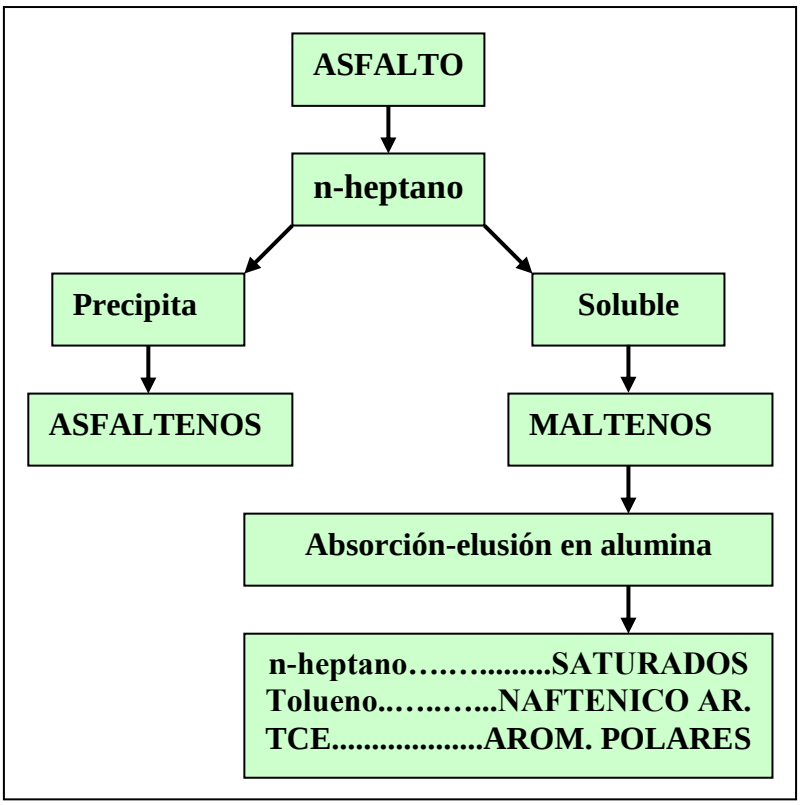


Figura 3.3 **Componentes en los que se disuelve el asfalto al aplicársele heptano.**

2. Tipo Gel (estructura micelar empaquetada): tienen una mayor proporción de asfaltenos y resinas, que se disponen formando una estructura reticular muy compleja, dejando unos espacios libres, en los que se encuentran los maltenos. Esta estructura reticular rodeada de un fluido viscoso proporciona a este tipo de betunes un comportamiento bajo carga visco-elástico.

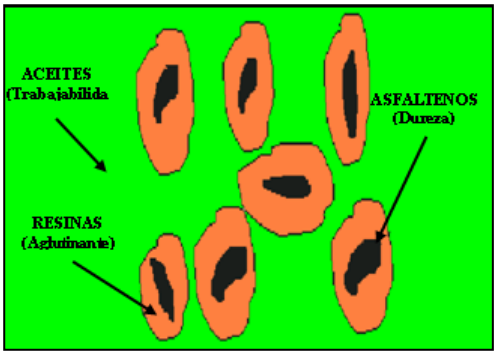


Figura 3.4. **Distintos componentes del asfalto.**

Es menos susceptible a la temperatura y más adecuado para soportar las solicitaciones del tráfico, es decir, son los empleados en la construcción de carreteras.

Cabe mencionar que no todos los crudos del petróleo proporcionan por refinación, asfaltos aptos para la construcción de pavimentos flexibles, como sucede con los crudos de la base parafinita los cuales están constituidos fundamentalmente por hidrocarburos saturados, que requieren un proceso complementario de oxidación parcial. Los mejores asfaltos se pueden obtener a partir de los crudos de base nafténica, constituidos fundamentalmente por hidrocarburos no saturados.

El comportamiento reológico de los asfaltos depende de su composición química, la cual depende a su vez de su fuente de procedencia y del proceso de refinación.

La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen:

- evaporación de los compuestos mas volátiles,
- oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno),
- polimerización (combinación de dos o mas moléculas para formar una sola molécula mas pesada) y
- otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto.

Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto. Este aumento de viscosidad con el envejecimiento es ilustrado en la **Grafica 3.3.** en donde se indica el cambio en viscosidad después de una prueba normal de envejecimiento.

3.3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO.

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

3.3.3.1 Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento esta afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto.

3.3.3.2 Adhesión y cohesión

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos, como la relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica-no califica”, y

solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficientemente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

3.3.3.3 Susceptibilidad a la temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y mas blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia. La **Grafica 3.2.** ilustra este punto, muestra la susceptibilidad a la temperatura de dos asfaltos (Asfalto A y Asfalto B) que tienen el mismo grado de penetración pero que provienen de crudos de diferente origen. Obsérvese que a 25ºC (77ºF) la viscosidad de los dos asfaltos es la misma. Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. Esto se debe a que los dos asfaltos tienen diferente susceptibilidad a la temperatura.

Lo mismo puede ocurrir con dos asfaltos con el mismo grado de viscosidad pero provenientes de crudos de diferente origen. **La Grafica 3.3.**, por ejemplo, muestra que el Asfalto C y el Asfalto D tienen la misma viscosidad a una temperatura de 60ºC (140ºF). Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. La conclusión es que, sin importar el sistema de clasificación utilizado, puede haber asfaltos derivados de crudos diferentes con diferente susceptibilidad a la temperatura

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Puede observarse, en referencia a la **Grafica 3.2.**, que a temperaturas mayores de 25ºC (77ºF), las cuales abarcan todas las temperaturas de construcción, el Asfalto A es menos viscoso (más fluido) que el Asfalto B. Como resultado, la temperatura necesaria para que el Asfalto A sea lo suficientemente fluido y pueda cubrir apropiadamente las partículas de agregado en la mezcla es menor que la temperatura necesaria para obtener

los mismos resultados con el Asfalto B. Lo mismo ocurre con las temperaturas de compactación. Puede ser necesario compactar una mezcla con el Asfalto A usando una temperatura menor que la requerida por una mezcla que contiene el Asfalto B.

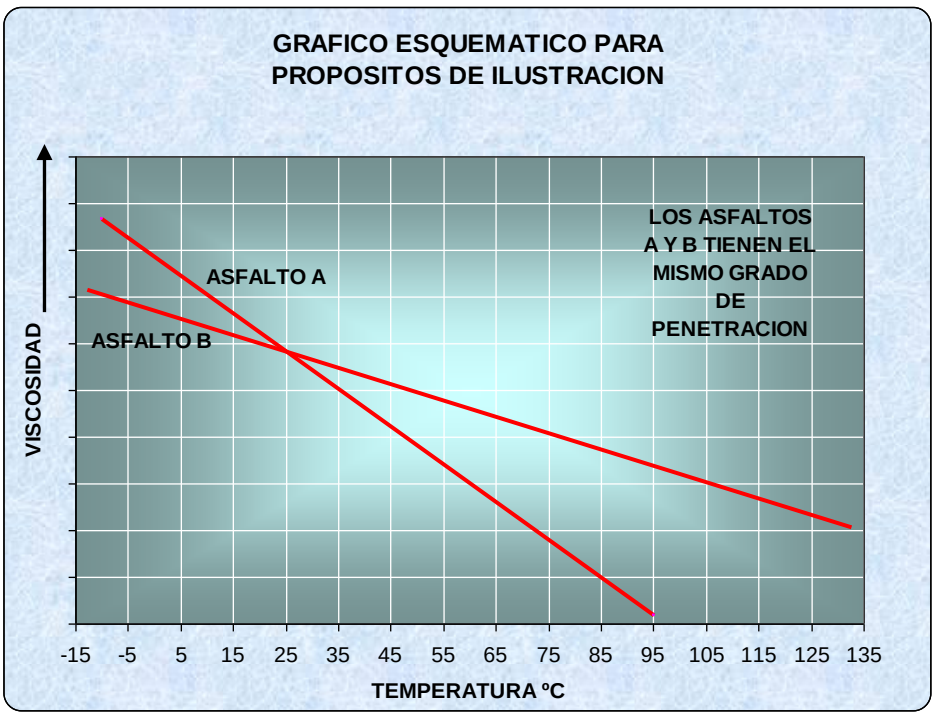


Grafico 3.2. **Variación de viscosidad con la temperatura de dos asfaltos graduados por penetración. (°F=9/5(°C)+32)**

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

Debe entenderse que es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

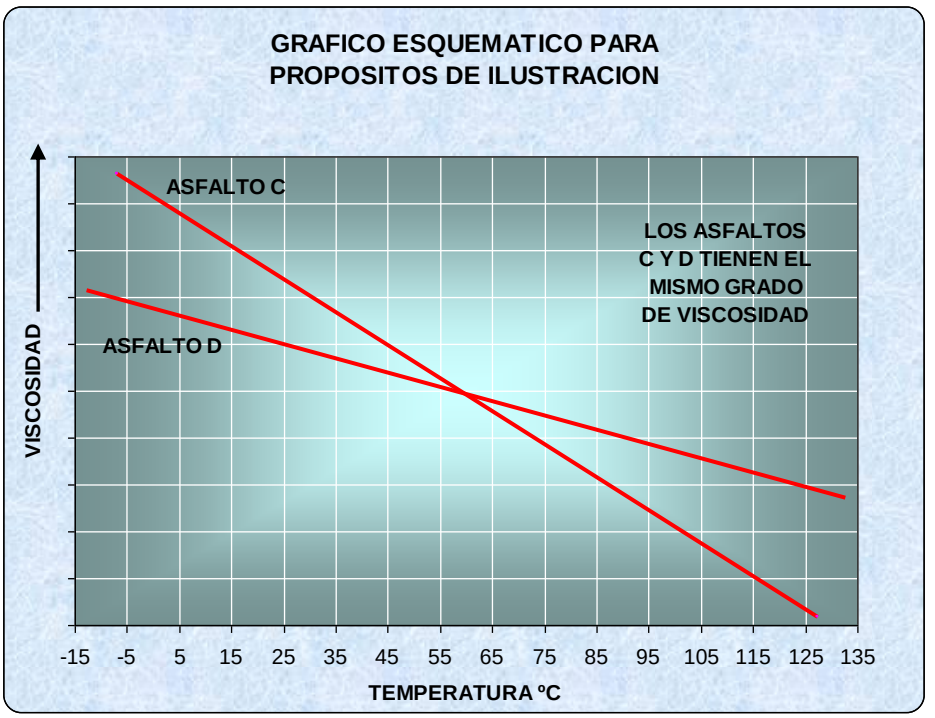


Grafico 3.3. **Variación de viscosidad con la temperatura de dos asfaltos graduados por viscosidad. (ºF=9/5[ºC]+32).**[1]

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

3.3.3.4 Endurecimiento y envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. La **Figura 3.4** muestra el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en

Horno Rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo mas corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

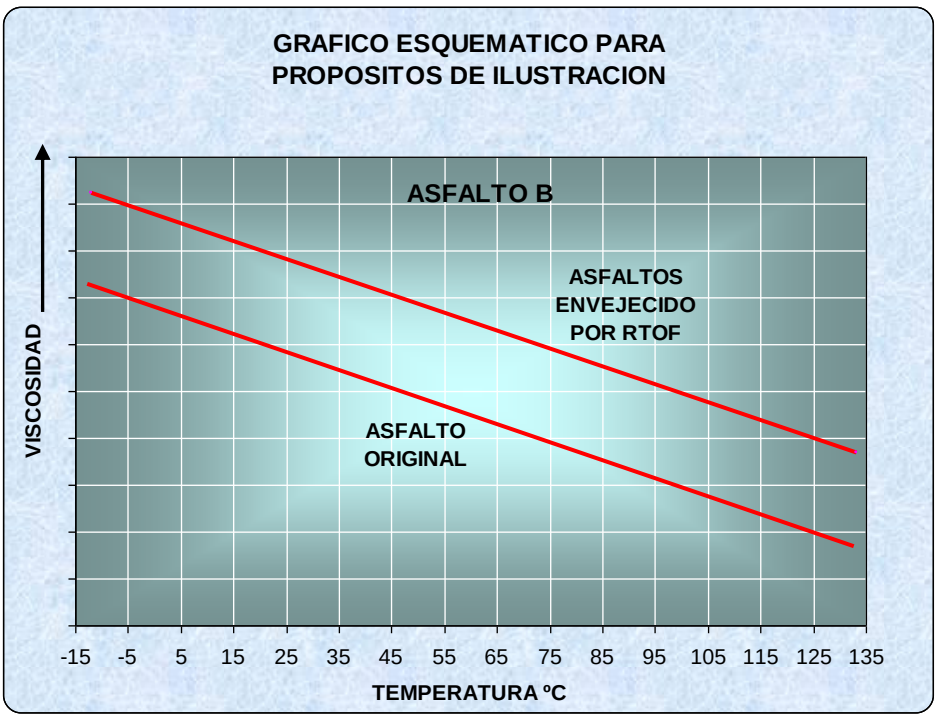


Grafico 3.4. **Endurecimiento de asfalto después de haber sido expuesto a temperaturas altas. (ºF=9/5[ºC]+32).**

RTFO—Prueba de película delgada en horno rotatorio; utilizada para simular la exposición de asfalto en el mezclador.
Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

3.4 ESPECIFICACIONES DE LA SECRETARIA DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA (SIECA)

Las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales de la S.I.E.C.A, según la sección 702 de ligantes bituminosos, subsección 702.01 para cemento asfáltico sin modificantes exige los siguientes requisitos descritos en las tablas 3.5 y 3.10:

Tabla 3.9. **Requisitos para cemento asfáltico clasificado por penetración, según SIECA**.

De la sección 702, sub sección 702.01, literal c de las Especificaciones para Puentes y Carreteras del Manual Centroamericano de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

PRUEBA DE ACEPTACIÓN (2)	**CONDICIÓN DE ENVEJECIMIENTO**	**TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO** (1)				
		40-50	60-70	85-100	120-150	200-300
Viscosidad cinemática a 135ºC (máximo, cStoke)	Original	3000 máx	3000 máx	3000 máx	3000 máx	3000 máx
Ductilidad a 25ºC (cm)	Original	100 mín	100 mín	100 mín	100 mín	-
Penetración a 25ºC (1/100cm)	Original	40-50	60-70	85-100	120-150	200-300
Punto de llama en copa abierta Cleveland (ºC)	Original	232 mín	232 mín	232 mín	232 mín	177 mín
Solubilidad en tricloroetileno (%)	Original	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín
Indice de susceptibilidad térmica VTS (3)	Original	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx
Pérdida de peso por calentamiento en el horno de película delgada RTFO (%)	Original	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx
Penetración residual (%) (4)	Residuo RTFO	58 mín	54 mín	50 mín	46 mín	40 mín
Ductilidad a 25ºC (cm)	Residuo RTFO	-	50 mín	75 mín	100 mín	100 mín

PRUEBAS OPCIONALES DE ACEPTACIÓN (5)	**CONDICIÓN DE ENVEJECIMIENTO**	**TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO (1)**				
Indice de inestabilidad coloidal (6)	Original	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Porcentaje de ceras	Original	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Razón de viscosidades (7)	Residuo RTFO	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

Notas:

(1) Criterio de clasificación

(2) Ensayo de acuerdo con la normativa definida en la Subsección 702.01(d)

(3) VTS = 11.3358 × [log [log (viscosidad absoluta a 60ºC (cPoise)]-log[log(viscosidad absoluta a 135ºC (cPoise)]]

(4) $\text{Penetración residual}(\%) = \frac{\text{penetración a } 25^{\circ}\text{C para residuo TFO (Poise)}}{\text{penetración a } 25^{\circ}\text{C para asfalto original (Poise)}}$

(5) Requisitos de aceptación cuya aplicación en un proyecto particular es definida por el contratante.

(6) $\text{Indice de inestabilidad coloidal} = \frac{\text{asfaltenos}(\%) + \text{saturados}(\%)}{\text{resinas}(\%) + \text{aromáticos}(\%)}$

(7) $\text{Razón de viscosidades} = \frac{\text{viscosidad absoluta a } 60^{\circ}\text{C para residuo RTFO (Poise)}}{\text{viscosidad absoluta a } 60^{\circ}\text{C para asfalto original (Poise)}}$

Tabla 3.10. **Requisitos para cemento asfáltico clasificado por viscosidad, según SIECA.**

De la sección 702, sub sección 702.01, literal c de las Especificaciones para Puentes y Carreteras del Manual Centroamericano de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN (2)	CONDICIÓN ENVEJE-CIMIENTO	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO (1)					
		AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad absoluta a 60ºC (Poise)	Original	200-300	400-500	800-1200	1600-2400	2400-3600	3200-4800
Viscosidad cinemática a 135ºC (máximo, Poise)	Original	3000 máx	3000 máx	3000 máx	3000 máx	3000 máx	3000 máx
Viscosidad cinemática a 135ºC (mínimo, Poise)	Original	125 mín	175 mín	250 mín	300 mín	350 mín	400 mín
Penetración a 25ºC (1/100 cm)	Original	220 mín	140 mín	80 mín	60 mín	50 mín	40 mín
Punto de llama en copa abierta Cleveland (ºC)	Original	163 mín	177 mín	232 mín	232 mín	232 mín	232 mín
Solubilidad en tricloroetileno (%)	Original	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín	99.0 mín
Indice de susceptibilidad térmica VTS (3)	Original	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx	3.90 máx
Pérdida de peso por calentamiento en horno de película delgada RTFO (%)	Original	-	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx	1.0 máx
Viscosidad absoluta a 60ºC (Poise)	Residuo RTFO	1200 máx	2000 máx	4800 máx	9600 máx	14400 máx	19200 máx
Ductilidad a 25ºC (cm)	Residuo RTFO	100 mín	100 mín	75 mín	50 mín	40 mín	25 mín

Pruebas opcionales de aceptación (4)	Condición de envejecimiento	Tipo de cemento asfáltico (1)					
		AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Indice de inestabilidad coloidal (5)	Original	0.6 máx	0.6 máx	0.6 máx	0.6 máx	0.6 máx	0.6 máx
Porcentaje de ceras	Original	3.0 máx	3.0 máx	3.0 máx	3.0 máx	3.0 máx	3.0 máx
Razón de viscosidades (6)	Residuo RTFO	4.0 mín	4.0 mín	4.0 mín	4.0 mín	4.0 mín	4.0 mín

Notas:

(1) Criterio de clasificación

(2) Ensayo de acuerdo con la normativa definida en la Subsección 702.01(d)

(3) VTS = 11.3358 × [log [log (viscosidad absoluta a 60ºC (cPoise)]-log[log(viscosidad absoluta a 135ºC (cPoise)]]

(4) Requisitos de aceptación cuya aplicación en un proyecto particular es definida por el contratante.

(5) $$\text{Indice de inestabilidad coloidal} = \frac{\text{asfaltenos}(\%) + \text{saturados}(\%)}{\text{resinas}(\%) + \text{aromáticos}(\%)}$$

(6) $$\text{Razón de viscosidades} = \frac{\text{viscosidad absoluta a } 60^{\circ}\text{C para residuo RTFO (Poise)}}{\text{viscosidad absoluta a } 60^{\circ}\text{C para asfalto original (Poise)}}$$

Además de los requisitos anteriormente mencionados la SIECA exige los siguientes ensayos:

- Gravedad Específica a 25 ºC
- Viscosidad Cinemática a 125 ºC
- Viscosidad Cinemática a 145 ºC

Para el presente trabajo se tomarán en cuenta los parámetros para el asfalto clasificado por penetración, ya que es la forma en que se clasifican en nuestro país.

3.5 SEGURIDAD EN EL MANEJO DEL ASFALTO CALIENTE

En una planta de asfalto las temperaturas usualmente exceden los 150ºC (300ºF). Las superficies de metal de los equipos de la planta generalmente oscilan entre los 65ºC (l50ºF) y los 95ºC (200ºF). En consecuencia, cualquier contacto momentáneo con el asfalto caliente o con el equipo de la planta, incluyendo tanques, tuberías, secadores, calderas, y casas de calderas, puede quemar severamente la piel expuesta.

Cuatro precauciones generales contra estas dolorosas, y a veces desfigurantes quemaduras son necesarias:

- Esté consciente en donde están localizados los riesgos de quemaduras.
- Use las áreas designadas para caminar y manténgase alejado de situaciones peligrosas.
- Siempre use la ropa adecuada de trabajo.
- Conozca y siga todos los procedimientos de seguridad relacionados con el manejo de material y equipo caliente.

En caso de que ocurra una quemadura, siga las siguientes normas generales para el tratamiento:

- En el caso de quemaduras locales de asfalto en la piel, aplique agua fría o una bolsa de hielo para reducir el calor del asfalto y la piel.

- En el caso donde las quemaduras cubran más del 10 por ciento del cuerpo (aproximadamente el área de piel de un brazo o de media pierna) aplique agua tibia en vez de agua fría. El agua tibia reducirá la temperatura del asfalto y de la piel sin causar un shock, el cual puede ser inducido si se aplica agua fría o hielo a quemaduras mayores.
- No remueva el asfalto de la piel.
- No cubra el área afectada con una venda.
- Asegúrese que un medico revise la quemadura inmediatamente.

El sulfuro de hidrógeno es un producto de la reacción entre el hidrógeno y el azufre presentes, naturalmente, en el asfalto. En concentraciones bajas, el sulfuro de hidrógeno no es peligroso; sin embargo, en concentraciones altas, como las encontradas en tanques de almacenamiento y otras áreas encerradas, puede ser letal. Para prevenir demasiada exposición a los vapores de sulfuro de hidrógeno:

- Mantenga su cara alejada, por lo menos un metro, de las escotillas de los tanques de asfalto.
- Mantenga su cara en dirección contraria al viento al estar cerca de las escotillas abiertas.
- Evite respirar los vapores cuando abra las tapas de las escotillas o cuando obtenga muestras.

En caso de demasiada exposición a los vapores de sulfuro de hidrógeno:

- Mueva la víctima a un área de aire fresco.
- Administre oxígeno si la víctima respira con dificultad.
- Comience respiración artificial si la víctima deja de respirar.
- Haga que la víctima sea examinada inmediatamente por un médico.

3.6 ALMACENAMIENTO DE ASFALTO

En una planta estacionaria de asfalto, el asfalto es almacenado en tanques aislados y calientes, cuya capacidad promedia es de 76,000 litros (20,000 galones). Los tanques montados en remolques pequeños son usados para plantas portátiles. Su capacidad es generalmente la mitad de la de los tanques fijos o estacionarios.

Los tanques de almacenamiento están equipados con espirales térmicas de vapor, espirales de aceite caliente, o calentadores de gas o eléctricas, con el fin de mantener el asfalto con suficiente fluidez para que pueda ser bombeado con facilidad. Existen ciertas precauciones que deben tomarse, respecto a las temperaturas en los tanques, para poder garantizar la seguridad:

- Verifique y registre periódicamente las temperaturas en los tanques.
- Use solamente el instrumento adecuado cuando mida la temperatura en los tanques.
- Evite tomar lecturas de temperatura cerca de los espirales de calentamiento, cerca de la pared del tanque o cerca del fondo del tanque. Dichas lecturas son, generalmente, imprecisas.
- Desde el punto de vista de seguridad es deseable almacenar el asfalto a una temperatura muy por debajo del punto de inflamación. Recuerde que los valores reportados en el ensayo de punto de inflamación son específicos de los procedimientos del ensayo y no representan, necesariamente, las atmósferas de vapor existentes en el tanque. En consecuencia, el punto de inflamación del asfalto en el lugar de almacenaje puede variar, considerablemente, respecto al punto de inflamación determinado en el laboratorio. La **Tabla 3.11**. presenta normas que sirven de guía para el almacenamiento y manejo de varios tipos y grados de asfalto. Aun cuando no están destinadas a ser estrictas, las normas sirven para indicar temperaturas seguras de almacenaje, siendo a la vez eficaces para mantener la fluidez del asfalto, cumplir con regulaciones ambientales, y cumplir con las especificaciones de las agencias.
- Revise regularmente los tanques de almacenamiento y los espirales para ver si hay señales de daño o escape.

Los camiones y los vagones de ferrocarril que generalmente transportan asfalto pueden ser usados, a veces, para transportar otros productos del petróleo. Debido a esto, a veces se encuentran residuos no-asfálticos en los tanques a ser cargados con el asfalto; residuos que pueden contaminar la carga de asfalto. Esta contaminación puede resultar, no solamente, en un asfalto que no cumpla con especificaciones, sino también en un aumento en el peligro de incendio o explosión. Investigaciones previas han mostrado que muchos asfaltos que están fuera de especificaciones tienen puntos de inflamación muy bajos. Por ejemplo, 0.1 por ciento de aceite diesel en el cemento asfáltico puede disminuir el punto de inflamación tanto como 27ºC (50ºF) (ensayo de Pensky-Martens), y aumentar la penetración tanto como 10 puntos.

Dicha contaminación asciende solamente a una parte por mil, pero los efectos en las propiedades del asfalto son grandes.

Para minimizar estos peligros, refiérase a la **Tabla 3.12** cuando este cargando asfalto en tanques previamente usados para transportar otros productos.

3.7 RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN

El asfalto se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Estos cambios en volumen pueden causar confusión porque la base de los pagos y los registros de la obra es el volumen de asfalto a 15ºC (59ºF), sin importar la temperatura a la cual el asfalto es transportado y almacenado. Por consiguiente, cuando son entregados 19,000 litros (5,019 galones) de asfalto a 150ºC (302ºF), su volumen a 15ºC (59ºF) debe ser calculado y registrado.

El cálculo necesario es simple, y solo requiere la siguiente información:

- La temperatura del asfalto.
- El peso especifico del asfalto.

La temperatura del asfalto y su peso específico son utilizados para localizar el factor de corrección en unas tablas de valores. Estas tablas han estado en uso por lo menos durante las ultimas tres décadas y son la única información disponible, hoy en día, para corregir temperaturas por encima de 150ºC (302ºF). Sin embargo, la precisión de las tablas no

esta garantizada. Una vez que el inspector conozca la temperatura del asfalto y el factor de corrección adecuado, deberá proceder a usar la siguiente formula para calcular el volumen de asfalto a 15ºC (59ºF):

$$V = V_t(CF)$$

Donde,

V= Volumen a 15ºC (59ºF)

V_t= Volumen a la temperatura dada

CF= Factor de Corrección

En el Anexo I se dan los valores para factores de corrección para el cálculo del cambio de volumen del asfalto.

Tabla 3.11. **Guía de temperatura para almacenamiento y manejo de productos asfálticos.**

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

Tipo y Grado	Referencia	Punto de inflamación mínimo ºC (ºF)	Temperatura de almacenamiento ºC (ºF)
AC-2.5	AASHTO M226	163 (325)	160 (320)
5		177 (350)	166 (330)
10		219 (425)	174 (345)
20		232 (450)	177 (350)
40		232 (450)	177 (350)
AR-1000	AASHTO M226	205 (400)	163 (325)
2000		219 (425)	168 (335)
4000		227 (440)	177 (350)
8000		232 (450)	177 (350)
16000		238 (460)	177 (350)
Pen 40-50	AASHTO M20	232 (450)	177 (350)
60-70		232 (450)	177 (350)
85-100		232 (450)	177 (350)
120-150		219 (425)	177 (350)
200-300		177 (350)	168 (335)
MC-30	AASHTO M82	38 (100)	54 (130)
70		38 (100)	71 (160)
250		66 (150)	91 (195)
800		66 (150)	99 (210)
3000		66 (150)	99 (210)
RC-70	AASHTO M81	—	71 (160)
250		27 (80)	91 (195)
800		27 (80)	99 (210)
3000		27 (80)	99 (210)
SC-70	ASTM D 2026	66 (150)	71 (160)
250		79 (175)	91 (195)
800		93 (200)	99 (210)
3000		107 (225)	99 (210)
Todos los grados de asfalto emulsificado	AASHTO M140 & 208	—	82 (180)

Tabla 3.12. **Guía para cargar productos asfálticos.**

Tomado de MS 22 Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute.

ULTIMO PRODUCTO EN EL TANQUE	PRODUCTO A SER CARGADO			
	CEMENTO ASFÁLTICO	**ASFALTO DILUIDO**	**EMULSIÓN CATIONICA**	**EMULSIÓN ANIÓNICA**
CEMENTO ASFÁLTICO	Puede Cargarse	Puede Cargarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
ASFALTO DILUIDO	Vaciar completamente*	Puede Cargarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
EMULSIÓN CATIÓNICA	Vaciar completamente*	Vaciar tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Puede cargarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
EMULSIÓN CATIÓNICA	Vaciar completamente*	Vaciar tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Puede cargarse
CRUDO DE PETRÓLEO Y ACEITES COMBUSTIBLES RESIDUALES	Vaciar completamente*	Vaciar tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
CUALQUIER OTRO PRODUCTO QUE NO ESTE MENCIONADO ARRIBA	El tanque debe ser limpiado	El tanque debe ser limpiado	El tanque debe ser limpiado	El tanque debe ser limpiado

Nota: * Cualquier material remanente ocasionará condiciones peligrosas

3.8 ENSAYOS REALIZADOS AL ASFALTO PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES.

3.8.1 MUESTREO DE ASFALTO

La única manera de saber si el cemento asfáltico entregado en la planta cumple con las especificaciones, es tomar muestras del material y hacerlas ensayar en el laboratorio. Las muestras deben ser representativas del cargamento total para poder obtener resultados confiables. Es muy probable que se obtengan resultados engañosos en los ensayos si las muestras están alteradas o contaminadas. Tales resultados podrían ser usados para rechazar un cargamento completo de cemento asfáltico, aun cuando el asfalto este cumpliendo con las especificaciones.

3.8.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Los asfaltos son materiales termoplásticos, que son afectados por los cambios de temperatura y se ablandan conforme la temperatura aumenta, puesto que no poseen un punto de fusión determinado, sino que se ablandan gradualmente, se calcula el punto de ablandamiento que se define como la temperatura que necesita el asfalto para alcanzar un determinado estado de fluidez.

3.8.3 PESO ESPECÍFICO

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada.

El peso específico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en las especificaciones de la obra. De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen, las cuales serán discutidas más adelante.

- El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado.

3.8.4 PENETRACIÓN

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba esta incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25 ºC. Este es un ensayo aplicable tanto a cementos asfálticos sólidos como a residuos de destilación de asfaltos líquidos, en donde se determina la consistencia del producto bituminoso. Los asfaltos presentan a temperaturas moderadas, viscosidades muy altas que no pueden cuantificarse con equipos convencionales, esta prueba busca determinar la dureza del asfalto a diferentes temperaturas.

3.8.5 PUNTO DE FLAMA Y DE LLAMA

El punto de flama y de llama de un cemento asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un destello en presencia de una llama abierta. El punto de flama y de llama no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se está separando del asfalto.

El punto de flama y de llama de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficientemente baja para que el material pueda ser bombeado.

3.8.6 SOLUBILIDAD

El ensayo de solubilidad es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se

disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, el carbono libre, y los contaminantes orgánicos, no se disuelven sino que se depositan en forma de partícula. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como una proporción de la muestra original.

3.8.7 DUCTILIDAD

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

3.8.8 VISCOSIDAD

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación requieren, generalmente, ciertos valores de viscosidad a temperaturas de 60 ºC y 135 ºC. La viscosidad a 60 ºC es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135 ºC corresponde, aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que esta siendo diseñado. Con el ensayo de viscosidad se puede determinar la temperatura de mezcla y de compactación hasta la cual se debe llevar el asfalto para conformar la mezcla.

3.8.9 CARTA VISCOSIDAD-TEMPERATURA

Es una gráfica que se elabora para conocer el rango de temperaturas para la compactación y el mezclado de los especimenes, donde se toma la viscosidad a 2 o más

temperaturas y luego se grafican dichos puntos, conociéndose los rangos de viscosidad para la compactación y el mezclado de especificaciones.

3.8.10 ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO (TFO) Y ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO ROTATORIO (RTFO).

Estos no son verdaderos ensayos. Solamente son procedimientos que exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Los ensayos de viscosidad y penetración, efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado, del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento. La diferencia entre ambos ensayos radica en los procedimientos y el equipo, ya que el ensayo de película delgada en horno rotatorio (RTFO) fue desarrollado por agencias del oeste de Estados Unidos; pero el fin que persigue es el mismo que el del TFO, siendo nada más una variante de dicho ensayo.

3.9 GUIAS DE ENSAYOS PARA EL LIGANTE ASFALTICO.

La nomenclatura que se le ha dado a cada guía de ensayo, es diferente a la de la teoría. Para poder llevar un orden, a la hora de que el lector necesite copiar un ensayo. La **Tabla 3.13** muestra los ensayos que se desarrollan en esta sección:

Tabla 3.13. **Lista de Ensayos que se desarrollan en esta sección:**

Ensayo Numero	Norma AASHTO	Titulo
12.	T 40-02	Muestreo de Materiales Bituminosos
13.	T 53-96	Punto de Ablandamiento del Asfalto
14.	T 228-04	Gravedad Específica de Materiales Bituminosos Sólidos y Semi-Sólidos
15.	T 49-04	Penetración de Materiales Bituminosos
16.	T 48-04	Punto de Flama y Llama
17.	T 44-03	Solubilidad de Materiales Bituminosos
18.	T 51-00	Ductilidad de Materiales Bituminosos
19.	T 201-03	Viscosidad Cinemática de Asfaltos (Betunes)
20.	D 341-93	Cartas Viscosidad –Temperatura
21.	T 179-04	Efecto del Calor y el Aire en Materiales Asfálticos (Ensayo de Película Delgada)

Nota:

La nomenclatura para **Tablas, Gráficos, Fotografías** y **Figuras**; es como el siguiente ejemplo: **Tabla E 12.1**, se refiere en primer lugar a la **Tabla**, (**Grafico, Fotografía o Figura**), la **E** de ensayo; seguido del número correlativo del numero de ensayo **12.;** y finalmente el **.1** es el inicio de la numeración correlativa para la **Tabla**, (**Grafico, Fotografía o Figura**), del ensayo numero uno.

Ensayo No. 12.

MUESTREO DE MATERIALES BITUMINOSOS

Basado en norma AASHTO: T 40-02
Con norma equivalente en ASTM: D 140 - 00

1. OBJETIVO

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir el procedimiento para el muestreo del asfalto.
- Identificar el material y equipo utilizado para la realización de este ensayo.

2. ALCANCE

2.1 Esta práctica es aplicable para el muestreo de materiales bituminosos en los lugares de fabricación, almacenamiento o entrega.

2.2 (*)Las muestras pueden ser tomadas de tanques, apilamientos, vehículos ó contenedores usados para el almacenamiento o envío de materiales bituminoso.

2.3 Los valores dados en unidades del SI serán consideradas como las estándar. Los valores dados en paréntesis son sólo para información.

2.4 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

NOTA — *Un Asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios en la norma ASTM D 140-00 según lo establece la norma AASHTO T 40-04*

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas ASTM:

D 346 Práctica para Recolección y Preparación de Toma de Muestras para Análisis de Laboratorio.

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1 El muestreo es tan importante como el ensayo, y se deben tener precauciones para obtener muestras que mantengan la naturaleza y condiciones verdaderas del material.

4.2 Las muestras pueden ser tomadas para los siguientes dos propósitos:

4.2.1 Para representar tanto como sea posible las características del volumen de los materiales de donde se obtuvo la muestra, ó

4.2.2 Para averiguar la variación máxima de las características que el material posee.

5. SELECCIÓN DE MUESTRA

5.1 Siempre que quiera ensayar materiales bituminosos, éstos deberán ser muestreados en el lugar de fabricación o almacenamiento, permitiendo que se realicen ensayos de control para la aceptación o rechazo del asfalto antes de realizar un envío.

5.2 Cuando las muestras no pueden ser tomadas en el punto de fabricación o almacenamiento, éstas se tomarán del embarque inmediatamente se efectúe la entrega.

6. TAMAÑO DE LA MUESTRA

6.1 El tamaño de la muestra de materiales líquidos será como siguen:

6.1.1 Para análisis de rutina en el laboratorio, 1 L (1 cuarto) (emulsiones 4 L (1 gal.)),

6.1.2 (*) De almacenamientos grandes, muestree de cada válvula 1 L (1 cuarto), ó

6.1.3 De barriles o bidón, 1 L (1 cuarto),

6.2 El tamaño de la muestra de materiales semisólidos ó sólidos será como sigue:

6.2.1 De barriles, bidones ó conglomerados, de 1 a 2 kg (2 a 3 lb), ó

6.2.3 De aplastamiento ó polvo de material suelto o en bolsas, de 1 a 2 Kg (2 a 3 lb).

7. CONTENEDORES

7.1 *Tipos de contenedores*:

7.1.1 (*) Contenedores para muestreo de materiales bituminosos líquidos, excepto emulsiones, serán recipientes metálicos dobles con tapadera a base de fricción,

recipiente metálico cuadrado con tapadera de rosca, o recipientes metálicos pequeños con tapones de rosca en su boquilla.

7.1.2 (*) Contenedores para muestreo de emulsiones asfálticas aniónicas se utilizarán recipientes de vidrio o plásticos de boca ancha.

7.1.3 (*) Contenedores para muestreo de emulsiones asfálticas catiónicas se utilizarán recipientes plásticos de boca ancha o recipientes metálicos de boca ancha con tapones de rosca en su boquilla.

(*) **NOTA 1—** Recipientes metálicos de boca ancha o botellas de vidrio pueden ser utilizados si la experiencia previa ha sido satisfactoria.

7.2 *Tamaño del contenedor*:

7.2.1El tamaño del depósito será apropiado para la cantidad requerida de muestra.

8. PROTECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

8.1 Los contenedores de muestras serán nuevos. No serán lavados, enjuagados, o limpiados con una tela aceitosa. Si contienen evidencia de fundente de soldadura, o no están limpios y secos, entonces no serán usados. La tapadera superior y el contenedor se acoplaran conjunta y apretadamente.

8.2 Se tendrá cuidado para prevenir que la muestra no se contamine. Inmediatamente después de llenado, el contenedor será sellado y debidamente apretado.

8.3 El contenedor lleno de muestra no será sumergido en solvente, ni será enjugado con una tela saturada de solvente. Si la limpieza es necesaria use una tela seca y limpia.

8.4 Las muestras de emulsiones serán protegidas de la congelación para evitar el empaquetamiento.

NOTA 2 — Cuando muestree emulsiones, deberá tener cuidado de no muestrear material bajo presión ya que las velocidades resultantes tienden a causar entrampamiento de aire que podría proporcionar ensayos con resultados erróneos. Cualquier burbuja visual en el material es una indicación que tiene aire entrampado. Además, el contenedor de muestra deberá estar completamente lleno para minimizar la formación de piel en la interfase de aire- emulsión.

8.5 (*) La transferencia de muestras de un contenedor a otro será evitada si es posible, porque las características de los materiales pueden ser alteradas durante la transferencia, y hay una posibilidad de contaminación.

8.6 Inmediatamente después de llenar, limpie y tape (impermeabilizar) los contenedores de muestreo, los cuales serán debidamente identificados con un plumón adecuado, la marca se hará en el envase mismo, no en la tapadera. Las etiquetas de lino también pueden servir para la identificación si pueden ser afianzadas al envase de tal forma que se pueda asegurar que no se desprenderán en el traslado. Las etiquetas de lino no serán pegadas en las tapaderas de los contenedores usados.

9. MUESTREO EN EL LUGAR DE FABRICACION

9.1 (*) *En tanques grandes de Almacenamiento.*— No equipados con agitadores Mecánicos (Materiales Líquidos o Materiales hechos Líquido por Calentamiento). Las muestras serán obtenidas por uno de los tres métodos siguientes.

9.1.1 *(*) Método de Muestreo de Válvula.*— Usar válvulas o toma de salida localizadas en la parte superior, intermedia y baja del tanque, extraiga muestras de 1 a 4 L (1 cuarto a 1 gal.) de cada una, después de descongestionar, extrayendo y descartando 4 L (1 gal.) de material. Un diseño recomendado de la válvula muestreadora se muestra en la **Figura E 12.1.**

9.1.2 (*) *Método Tomador de Muestra (no adecuado para cementos asfálticos).*— las muestras serán tomadas en niveles superiores, intermedios e inferiores del tanque por el descenso del tomador de muestra en el material. Un modelo adecuado con instrucciones para su uso es mostrado en la **Figura E 12.2.**

9.1.3 *Método del Contenedor Throw-Away.*— Las muestras serán tomadas en la parte superior, intermedia, y niveles inferiores descendiendo en el material un contenedor por medio de un dispositivo de peso y soporte adecuado. El objetivo esencial del método es usar un contenedor limpio tomar la muestra, verter la muestra en otro contenedor y desechar el contenedor usado para tomar la muestra del tanque. Un modelo adecuado con instrucciones de uso es mostrado en la **Figura E 12.3.**

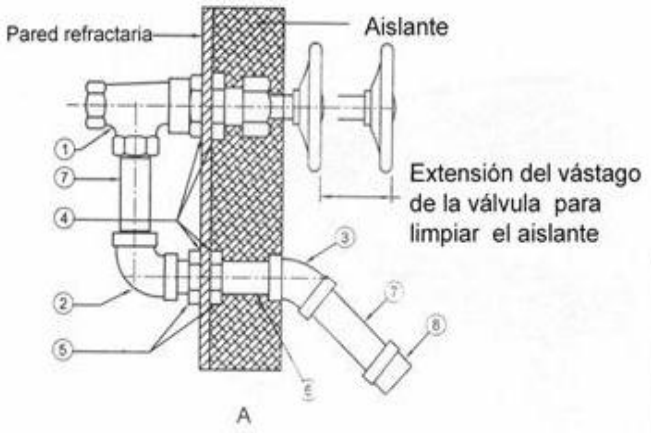
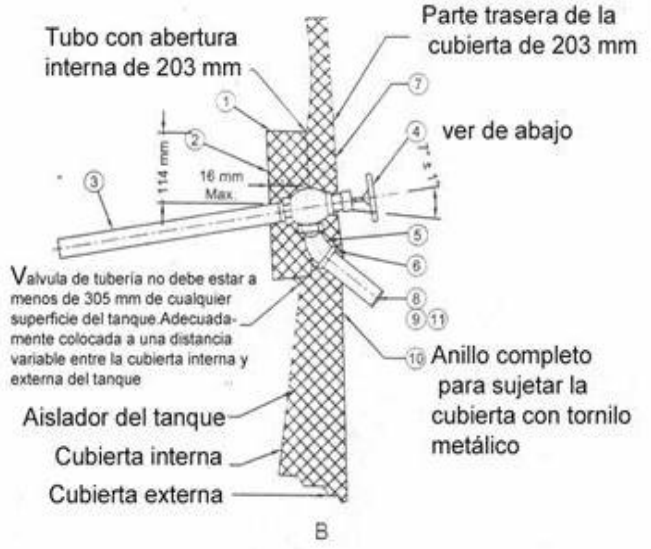


Tabla Figura E 12.1A

Ref No.	Descripción	No. Req
1	Válvula de Angulo de acero simular, panel mont 19 mm "Yo GT" P-9944	1
2	Codo de acero o hierro 90? 19 mm	1
3	Codo de acero o hierro 45? 19 mm	1
4	Empaques abrigadores de asbesto	4
5	Enroscado devanado con hilo 19 mm 150= contratuerca M.I atornillada	2
6	nicle de tubo de acero 19mmx89mm ± Enroscado (haga un viraje 19mm nipple del tanque STD De otra manera inalcanzable)	1
7	Nipple tubo de acero enroscado 19 mm x 76mm	2
8	Tapón hembra de hierro de tubo 19 mm	1

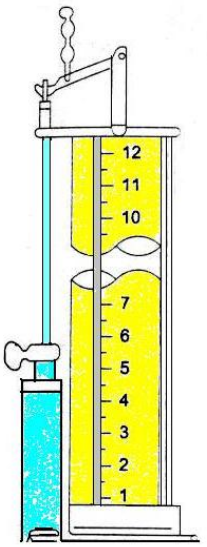
Tabla Figura E 12.1B

Ref No.		Descripción	
1	1	2780020	receso del cuello, válvula de muestra
2	1	2780019	receso fin de plato, válvula de muestra.
3	1	6200284	Tubo de ensenada, 19mmx330mm LG., T.O.E
4	1	6600349	VLV, 19mm grúa de angul, #2
5	1	0140798	Codo de acero 45?, 19mm
6	1	2750166	aleta de goteo, completamente termica
7	1	2780021	aleta del receso, válvula de muestra.
8	1	0190724	Tubo nipple, 19mmx102mm LG.
9	1	2780038	CAP ASM, válvula de muestreo
10	12	0144736	Tornillo PARKER KALON
11	2	6000435	Remache SOUTHCO, #38-106-05,3/16,9/32 LG



Vista de Sección Típica de de valvula (valvula de bronce de 19 mm) C

Tabla E 12.1 **Válvulas para el Muestreo de Asfalto.**



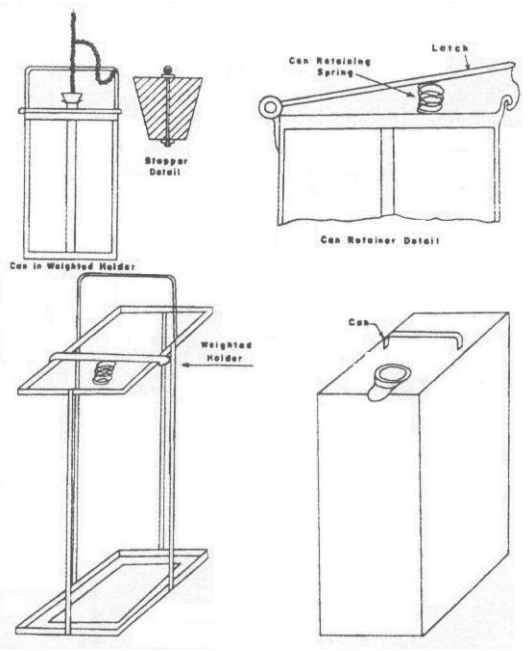
NOTA Figura E 12.2.1 — Este tipo de muestreador es bajado dentro del tanque con la válvula inferior abierta (no hay cierre máximo). Cuando la profundidad deseada es alcanzada, la cadena de descenso recibe un tirón suave que cierra la válvula inferior. El muestreador es entonces retirado del tanque y el contenido es transferido al envase de muestreo. Este muestreador puede servir para muestreo repetitivo en el mismo tanque.

NOTA Figura E 12.2.2 — La mayoría de materiales bituminosos en la condición líquida son de carácter viscoso y adhesivo, es normal que después de vaciar un contenedor, éste retenga suficiente material para causar contaminación significativa a una segunda muestra, asegúrese de el contenedor esté completamente limpio antes de usarlo. Las propiedades anteriormente mencionadas de materiales bituminosos también hacen la limpieza de un contenedor una tarea difícil, tediosa, y consumidora de tiempo.

Figura E 12.2 **Tomador de Muestras**

9.1.4 Las tres muestras de almacenamiento grande pueden ser ensayadas separadamente con el propósito de detectar estratificación. Pueden ser combinadas, mezclándolas completamente, y puede ser tomada una muestra de 1 a 4-L (1 qt a 1 gal) para otras pruebas que pueden ser requeridas para determinar las características comunes del material.

9.2 *Tanques de almacenamiento grandes (Materiales Líquido o Materiales Hechos Líquidos por calentamiento) Equipado con Agitadores Mecánicos.*- Cuando el tanque está equipado con agitadores operados mecánicamente, por observación a través de un muestreo o por la escotilla de inspección, se verifica si se realiza el mezclado adecuado en el tanque, entonces obtenga una sola muestra por cualquiera de los métodos descritos en la sección 9.1.1, 9.1.2 o 9.1.3 la cual será satisfactoria usarla para los propósitos de ensayo.



NOTA Figura E 12.3– Este tipo de muestreador es bajado en el tanque con el tapón en el lugar. Cuando la profundidad deseada es alcanzada, el tapón es removido por medio del alambre adjunto o la cadena y el envase es llenado. El llenado completo es indicado por la terminación de burbujas de aire en la superficie del líquido de la lata. El muestreador es entonces retirado del tanque y los contenidos vertidos en un contenedor limpio. Una lata (botella) limpia debe ser usada para cada muestra tomada

Figura E 12.3 **Muestreador Throw-Away**

10. MUESTREO DE VAGONES, VEHICULOS TANQUES, CAMION DISTRIBUIDOR O TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE RECIRCULACION.

10.1 (*) Cada vehículo de entrega o distribuidor estará acondicionado con una válvula de muestreo similar en diseño a la mostrada en la **Figura E 12.1.** Será instalada al menos 305 mm (1 pie) del fondo del tanque y será claramente etiquetada como una "Válvula de muestreo". Antes de que la muestra sea tomada de la válvula de muestreo un mínimo de 4 L (1 gal) será obtenido y descartado.

10.2 (*) Cuando lo requiera el comprador, los siguientes métodos pueden usarse para obtener muestras representativas.

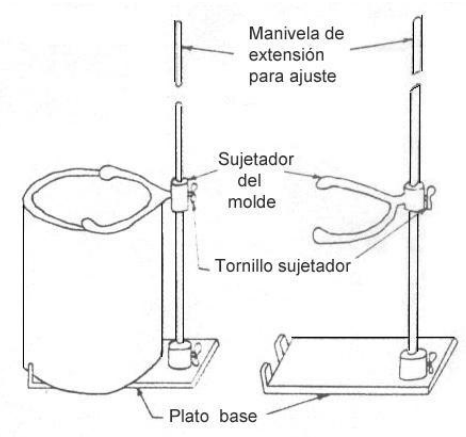
10.3 Muestras de materiales líquidos y materiales hechos líquidos por calentamiento podrán ser tomados por el método de inmersión usando un contenedor limpio, de boca ancha o fricción en la parte superior para un agarre adecuado como se muestra en la **Figura E 12.4.** Un contenedor limpio debe usarse para tomar cada muestra, y el material muestreado será entonces transferido a otro contenedor nuevo y limpio para almacenar ó ensayar la muestra.

Un adaptador desmontable, similar en diseño al que se muestra en la **Figura E 12.5.** puede ser insertado en la tubería de descarga. Antes de que la muestra sea tomada, se extraerán 4 L (1 gal) de ésta válvula de muestreo y se descartarán.

11. MUESTREO DE TANQUES Y BARCAZAS.

11.1 Para materiales líquidos (incluyendo todos los cut-backs hechos líquidos por calentamiento) las muestras serán tomadas en la parte superior, intermedia y baja usando los métodos descritos en las Secciones 9.1.2 y 9.1.3.

11.2 Para cualquier material, hecho líquido por calentamiento, sólo será tomada una muestra en la parte superior por los métodos Tomador de Muestra, de inmersión o contenedor Throw-Away.



NOTA Figura E 12.4— El muestreador con el contenedor asegurado es rápidamente descendido a la profundidad deseada permitiendo que se llene de muestra. El muestreador es entonces retirado del tanque y el contenido transferido al contendor de muestra. Para tomar cada muestra debe de usarse un contenedor limpio.

Figura E 12.4 **Muestreador de Inmersión**

12. MUESTREO DE TUBERIAS DURANTE LA CARGA O DESCARGA.

12.1 Cuando tanques y barcazas de transporte son cargados ó descargados es conveniente tomar muestras de la tubería a través de la cual el material fluye, por inserción de una tubería de muestreo en una sección naciente de la tubería en la descarga al lado de la bomba o en una tubería completamente llena en la cual la gravedad crea el flujo del material. Un muestreador adecuado de tubería es mostrado en la **Figura E 12.5.** La tubería de muestreo no será mayor de un octavo del diámetro de la punta de la tubería y su abertura deberá girar para permitir el flujo del líquido. Esta tubería será provista de una válvula o tapón al final y descargará en un contenedor receptor de muestra. Al menos tres muestras 4-L (1 gal.) serán tomadas en intervalos uniformes a lo largo de toda la carga ó descarga, las muestras individuales de 4-L serán combinadas, mezclándolas muy bien sin alterar sus características, y al final de la combinación una muestra de 4-L será tomada.

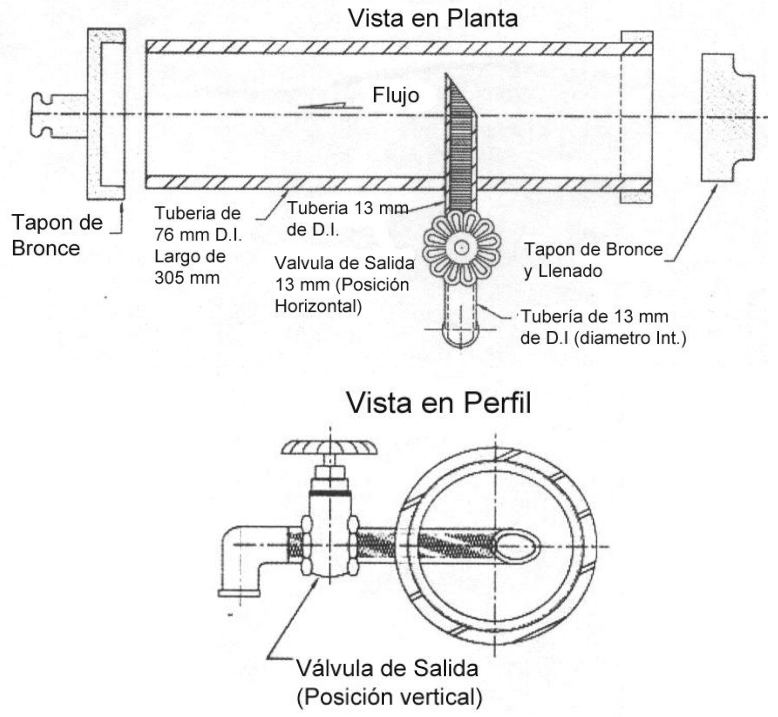


Figura E 12.5 **Dispositivo Típico para Muestreo de Asfalto Líquido de Unidades de Transporte**

12.2 Cuando el muestreo de tanques o barcazas de transporte de 4000 m^3 (25000 bbl) o de menor capacidad, al menos cinco muestras de 4-L (1 gal.) serán tomadas en intervalos uniformes a lo largo de toda carga o descarga completa (4000 m3) o de mayor capacidad, se requieren al menos diez muestras de 4–L. Al finalizar la carga o descarga las muestras individuales de 4-L serán combinadas, mezclándolas muy bien de una manera diseñada para no alterar sus características, y se tomará una muestra de 4 L.

13. MUESTREO DE BIDONES O BARRILES

13.1 Después de mezclar completamente las muestras de materiales bituminosos líquidos de barriles o bidones el muestreo será tomado y asegurado por tubo o Tomador de Muestra para tomar 1 L (1 qt) de material de lotes seleccionados al azar de acuerdo a la Sección 14.

14. MUESTREO DE MATERIALES SÓLIDOS, SEMISOLIDOS O NO TRITURADOS.

14.1 Bidones, Barriles, contenedores de cartón y Sacos – Donde el lote de material a ser muestreado es obviamente de una bachada o producción una unidad será seleccionada al azar, y muestree como se describe más adelante. Donde el lote de material a ser muestreado no es claramente de una bachada o una producción continua o donde una sola muestra es seleccionada como se describe anteriormente falla en el ensayo conforme a los requisitos de las especificaciones, un número de unidades será seleccionado aleatoriamente, equivalente a la raíz cúbica del número total de unidades en el lote. La **Tabla E 12.1.** proporciona el número de muestras a ser seleccionadas para envíos de varios tamaños.

Las muestras serán tomadas por lo menos 75 mm. (3 pulg) por debajo de la superficie y al menos 75 mm de la pared del contenedor. Si el material es bastante duro de cortar o si la masilla es rígida use un cuchillo de hoja ancha limpio y una espátula si el material es suave. Cuando en un lote más de una unidad sea muestreada, cada muestra individual no tendrá una masa menor 0.1 Kg (1/4 lb) de peso.

Cuándo el lote de material es obviamente de una sola bachada o producción continua todas las muestras del lote serán ablandadas y mezcladas completamente y se tomara de la muestra combinada un promedio de material de 4-L (1 gal) para examinar. En el caso que se presente más de una bachada o producción continua y estas bachadas pueden ser claramente diferenciadas, una muestra compuesta de 4-L será preparada para examinar de cada bachada. Donde no se logra diferenciar entre varias bachadas cada muestra será examinada separadamente.

Tabla E 12.1. **Numero de Muestras a ser Seleccionadas.**

Paquetes de Embarque	Paquetes Seleccionados
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1001 a 1321	11

15. MUESTREO DE MATERIALES TRITURADOS O EN POLVO

15.1 *Almacenamiento Grandes.*- Materiales bituminosos sólidos en fragmentos triturados o en polvo serán muestreados de acuerdo con la Práctica ASTM D 346. La muestra gruesa (en cantidad) no debe ser menor de 25 Kg (50 lb) de la cuál será seleccionada una muestra para ensayo de 1 a 2 Kg (2 a 3 lb).

15.2 *Bidones, Barriles, Sacos y Cajas de Cartón.*- Donde el material triturado o en polvo está en barriles, bidones ó bolsas, un número de unidades será seleccionado al azar como se describe en la Sección 15. Una muestra no menor de 0.5 kg (1 1/2 Lb) en masa será tomada cerca del centro de cada envase para producir una muestra en bruto (grande) no

menor de 25 kg (50 Lb) de la cual una muestra para ensayo de 1 a 2 Kg (2 a 3 lb) será tomada como se describe en la práctica ASTM D 346.

16. MUESTREO EN PUNTO DE ENTREGA DE EMBARQUE.

16.1 El muestreo de materiales bituminosos será tan pronto como sea posible, después de que el material bituminoso haya llegado al almacenamiento de la planta ó el lugar de destino.

16.2 El número requerido de muestras será tomado de cada entrega de material bituminoso. En caso de unidades pequeñas de entrega, como distribuidores, las muestras tomadas representarán un máximo de 40 m^3 (10,000 gal.).

16.3 El muestreo se hará por uno de los tres métodos siguientes:

16.3.1 De acuerdo con la Sección 9.

16.3.2 Por escurrimiento a través de una válvula de muestreo o grifo en la tubería de transferencia durante la descarga, aproximadamente en el tercio medio de la carga.

16.3.3 Por medio de un dispositivo de muestreo insertado a un nivel de aproximadamente el tercio medio de la carga o el tanque.

16.4 Los ensayos para la aceptabilidad del material serán hechos en una de las muestras tomadas. Las otras muestras serán almacenadas para la confirmación en caso de que la primera muestra ensayada no cumpla con los requerimientos.

Ensayo No. 13.

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL ASFALTO. (Método del Anillo y la Esfera)

Basado en Norma AASHTO: T 53-96 (2000)
con Norma equivalente ASTM: D 36-95

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir el procedimiento del ensayo.
- Identificar el material y equipo utilizado para la realización de este ensayo.
- Determinar el punto de ablandamiento de los materiales bituminosos

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento del asfalto en un rango de 30 a 157 °C (86 a 315 °F) utilizando el método del anillo y la esfera sumergidos en agua destilada (30 a 80 °C), glicerina USP (arriba de 80 a 157 °C), o glicol de etileno (30 a 110 °C).

2.2 Los valores presentados en unidades SI deben ser considerados como estándar.

2.3 Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso, si existe alguno. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

NOTA *– Un asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios en la norma ASTM: D 36-95 según lo establece la norma AASHTO T 53-96 (2000)*

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

T 48 Punto de Flama y Llama por la Copa Abierta Cleveland.

T 40 Muestreo para Materiales Bituminosos.

3.2 Normas ASTM:

C 670, Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

E 1 Especificación para Termómetros ASTM.

D 3461 Punto de Ablandamiento del Asfalto y Alquitrán (Método de la Copa Mettler y la Esfera).

4. RESUMEN DEL METODO DE ENSAYO

4.1 Dos discos horizontales de asfalto, vertidos en anillos de bronce, son calentados a una tasa de temperatura controlada en un baño líquido mientras cada disco soporta una esfera de acero. El punto de ablandamiento es reportado como la temperatura media a la cual los dos discos se ablandan suficientemente hasta dejar caer cada esfera, envueltas en asfalto, hasta descender a una distancia de 25 mm (1.0 pulg).

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1 Los asfaltos son materiales visco-elásticos sin punto de ablandamiento claramente definidos; los cuales gradualmente tienden a ablandarse y ser menos viscosos cuando la temperatura aumenta. Por esta razón, el punto de ablandamiento debe ser determinado por un método arbitrado y claramente definido si los resultados pueden ser reproducidos.

5.2 El punto de ablandamiento es útil en la clasificación de asfaltos, como un elemento para establecer la uniformidad de embarques o fuentes de suministro y es un indicativo de la tendencia del material para fluidificarse a temperaturas elevadas encontradas en servicio.

6. EQUIPO (Ver Fotografía E 13.1.)

6.1 *Anillos.*— Dos anillos de bronce de acuerdo a las dimensiones mostradas en **Figura E 13.1.(a)**

6.2 *Placa para Verter.*— Una placa, lisa de bronce aproximadamente de 50X75mm (2 X3 pulg).

6.3 *Esferas.*— Dos esferas de acero, con un diámetro de 9.5 mm (3/8 pulg), teniendo una masa de 3.50 ± 0.05 g cada una.

6.4 *Guías para centrar las esferas.*— Dos guías de bronce para centrar las esferas aceradas, una guía para cada anillo, conforme a la forma y dimensiones mostradas en **Figura E 13.1(b)**.

6.5 *Beaker.* — Un vaso de vidrio (beaker), capaz de soportar el calor, de diámetro interno no menor de 85 mm y profundidad mínima de 120 mm, desde donde se le colocara la llama.

NOTA 1: Un Griffin beaker con capacidad de 800-mL, como requisito, de vidrio resistente al calor.

6.6 *Portador de los anillo y el ensamble.*— Un portador de bronce diseñado para soportar los dos anillos en una posición horizontal, conforme a las dimensiones y forma mostradas en **Figura E 13.1.(c)**, sostenido en el ensamble ilustrado en la **Figura E 13.1.(d)**. El fondo de los anillos en el portador de los anillos será 25 mm (1.0 pulg), por encima de la superficie superior de la placa inferior, y la superficie inferior del placa, estará a 16 ± 3 mm (5/8 ± 1/8 pulg) del fondo del baño.

6.7 *Termómetros:*

6.7.1 Un termómetro ASTM para punto de ablandamiento bajo, debe tener un rango de - 2 a + 80°C o 30 para 180°F, y conforme a los requisitos para termómetros 15C o 15F prescrito en la Especificación E 1.

6.7.2 Un termómetro ASTM para punto de ablandamiento alto, debe tener un rango de 30 a 200°C o 85 a 392°F, y conforme a los requisitos para termómetros 16C o 16F prescrito en la Especificación ASTM E 1.

6.7.3 El termómetro apropiado será suspendido en el ensamble como se muestra en **Figura E 13.1.(d)** a fin de que el fondo del bulbo esté a nivel del fondo de los anillos y a 13 mm (0.5 pulg) de los anillos, pero nunca tocando el portador de anillos.

La sustitución por otros termómetros no será permitida.

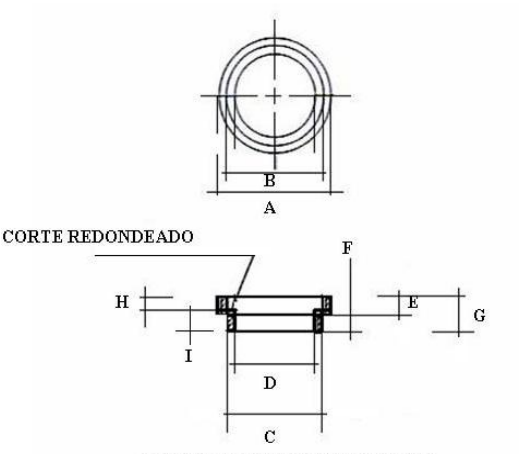


FIGURA 1 (a) ANILLO DE BRONCE

A 23.0 mm ± 0.3 mm	(0.91" ± 0.01")
B 19.8 mm ± 0.3 mm	(0.78" ± 0.01")
C 18.8 mm ± 0.3 mm	(0.74" ± 0.01")
D 15.9 mm ± 0.3 mm	(0.63" ± 0.01")
E 4.4 mm ± 0.3 mm	(0.17" ± 0.01")
F 2.0 mm ± 0.3 mm	(0.08" ± 0.01")
G 6.4 mm ± 0.4 mm	(0.25" ± 0.02")
H 3.6 mm ± 0.3 mm	(0.14" ± 0.01")
I 2.8 mm ± 0.3 mm	(0.11" ± 0.01")

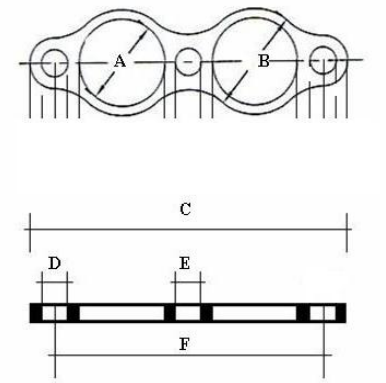


FIGURA 1 (b) PORTADOR DE LOS ANILLOS

A 19.0 mm ± 0.5 mm	(0.75")
B 23.9 mm ± 0.5 mm	(0.94" ± 0.02")
C 76.2 mm ± 0.5 mm	(3.00" ± 0.02")
D 5.6 mm ± 0.5 mm	(0.22" ± 0.02")
E 5.6 mm ± 0.5 mm	(0.22" ± 0.02")
F 66.5 mm ± 0.5 mm	(2.62" ± 0.02")

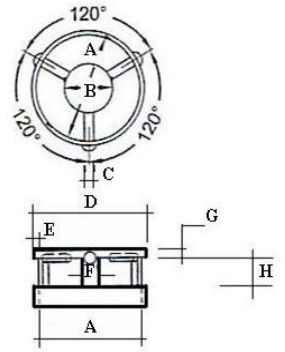


FIGURA 1 (c) GUIA PARA CENTRAN LAS ESFERAS

A 23.1 mm	(0.91")
B 9.7 mm	(0.38")
C 1.5 mm ± 0.5 mm	(0.06" ± 0.02")
D 24.6 mm ± 0.3 mm	(0.97" ± 0.01")
E 0.8 mm ± 0.5 mm	(0.03" ± 0.02")
F 3.0 mm ± 0.5 mm	(0.12" ± 0.02")
G 1.5 mm ± 0.3 mm	(0.06" ± 0.01")
H 4.8 mm ± 0.3 mm	(0.19" ± 0.01")
I 4.3 mm ± 0.3 mm	(0.17" ± 0.01")

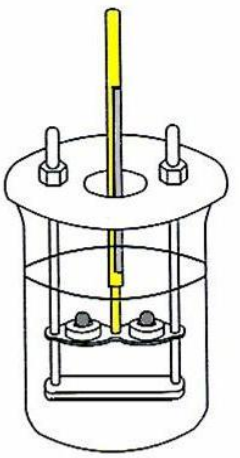
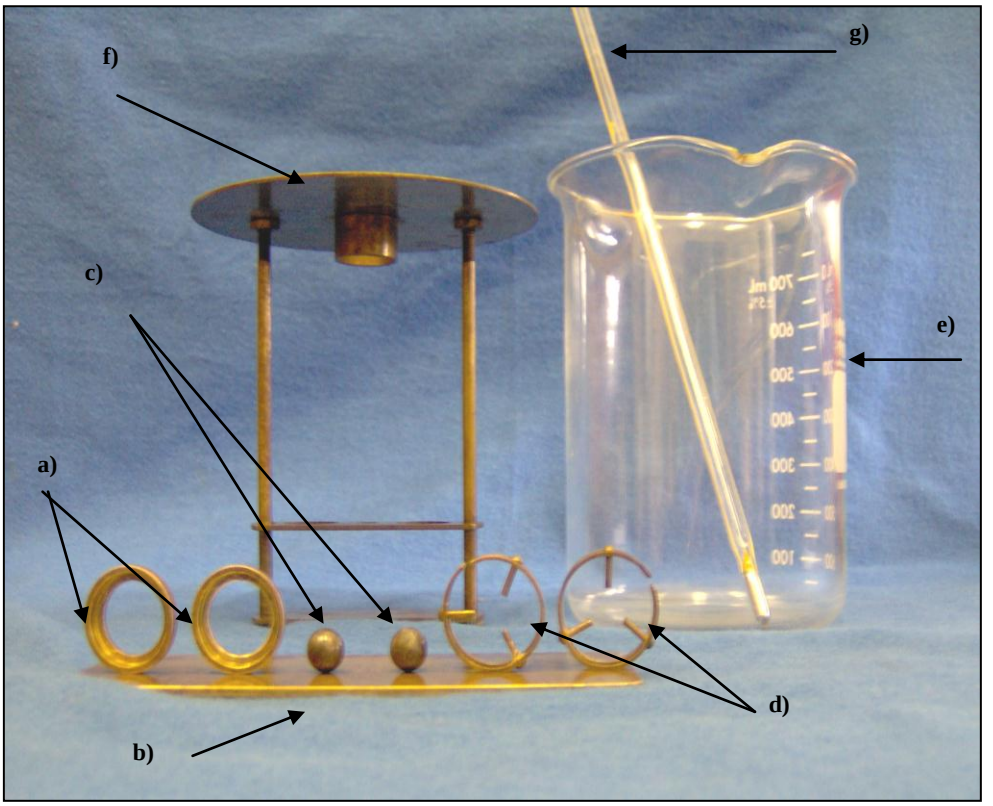


FIGURA 1 (d) ENSAMBLE CON LOS DOS ANILLOS

Figura E 13.1.

a) Anillo de bronce. b) Portador de los anillos. c) Guías para centrar las esferas. d) Equipo ensamblado con los dos anillos.



Fotografía E 13.1.

Equipo: a) Anillos b) Placa para verter c) Las Esferas d) Guías para centra las esferas e) Beaker f) El ensamblaje g) Termómetro.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

7. REACTIVOS Y MATERIALES

7.1 *Líquidos del Baño*:

7.1.1 *Agua destilada recientemente hervida.*

NOTA 2- El uso de agua destilada frescamente recientemente hervida es esencial para evitar burbujas de aire atrapadas en la superficie del espécimen que puedan afectar los resultados.

7.1.2 *Glicerina USP, o*

NOTA 3-PRECAUCIÓN: La glicerina tiene un punto de flama de 160 °C (320 °F) de acuerdo con el método de ensayo AASHTO T 48.

7.1.3 *Glicol Ethyleno.*— Con un punto de ebullición entre 195 y 197°C (383 y 387 °F).

NOTA 4-PRECAUCION*:* El glicol ethyleno es tóxico cuando es tomado o es inhalado como un vapor. Evite contacto prolongado o repetitivo en la piel e inhalación de los vapores. Su punto de flama es 115°C (239 ° F) de acuerdo con el método de ensayo AASHTO T 48. Al usar este líquido, realice el ensayo en un laboratorio techado y ventilado con capacidad adecuada para asegurar extracción de vapores tóxicos.

7.2 *Agentes antiadhesivos:*

7.2.1 Para prevenir adhesión del asfalto en la placa al verterlo en los anillos, la superficie de la placa puede ser revestida poco antes del uso, con una película delgada ya sea de aceite, de silicón o grasa (**NOTA 5**), una mezcla de glicerina y dextrina, talco, o arcilla de porcelana china.

NOTA 5- PRECAUCION: Evite contaminar con silicón otro equipo para ensayo de asfalto y muestras, utilizando guantes desechables cuando se manipule silicón o equipos. La contaminación por silicón puede producir resultados erróneos en otros ensayos como de penetración y punto de flama.

8.0 MUESTREO

8.1 Muestrear conforme al ensayo AASHTO T 40.

9. ESPECIMEN DE ENSAYO

9.1 No inicie menos que planee completar la preparación y el ensayo de todos los especimenes de asfalto dentro de 6 h y de todos los especimenes de alquitrán dentro de 4 ½ h. Caliente la muestra bituminosa con cuidado, mezclando frecuentemente para prevenir recalentamiento local, hasta que se haya fluidificado suficientemente para verter (**NOTA 6**). Mezcle cuidadosamente para evitar la incorporación de burbujas de aire en la muestra.

NOTA 6-Un plato calentado eléctrico que tenga una tasa mínima de potencia por unidad de area de 37 kW/m2 ha sido encontrado satisfactorio con este propósito.

9.1.1 No caliente la muestra de asfalto por más de dos horas para la temperatura de verter, en ningún caso ésta será mayor de 110 ° C (200 ºF) por encima del punto de ablandamiento esperado del asfalto.

9.1.2 No caliente la muestras de alquitrán por mas de 30 minutos a su temperatura de verter, en ningún caso será mayor de 55 °C (100 °F) por encima del punto esperado de ablandamiento del alquitrán.

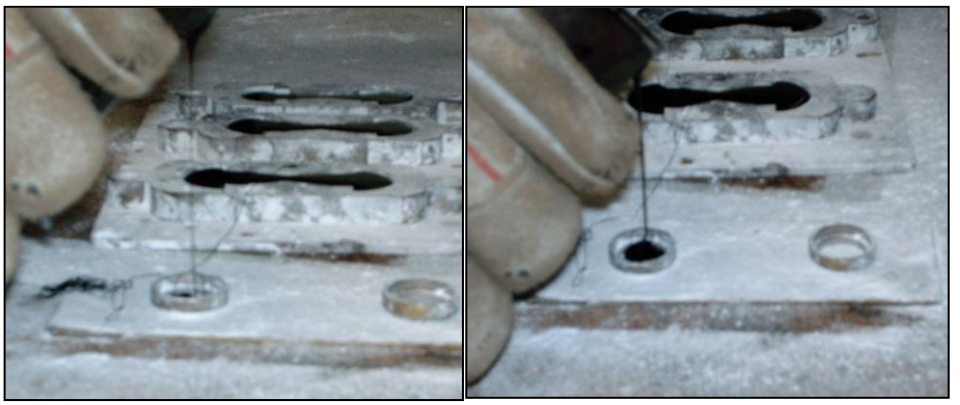
9.1.3 Si el ensayo es repetido, no recaliente la muestra; use una muestra nueva en un recipiente limpio para preparar nuevos especimenes de ensayo.

Caliente los dos anillos de bronce (pero no la placa para verter) a una temperatura aproximada para verter y colocarlos en la placa, tratada con uno de los agentes antiadhesivos (Ver **Fotografía E 13.2.**).

Fotografía E 13.2. **Los anillos tratados con material antiadhesivos.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

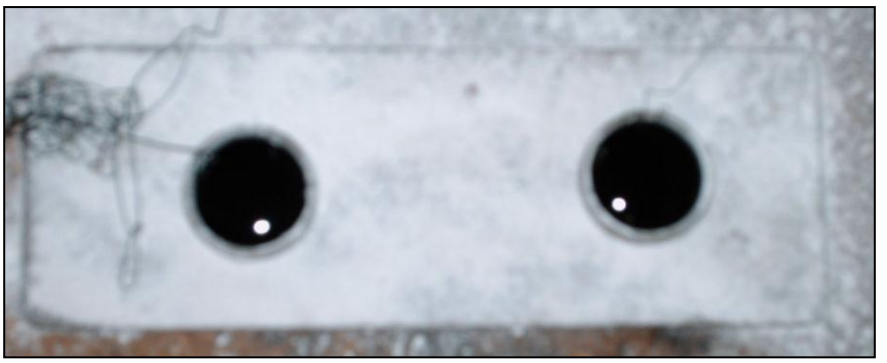
Vierta con un ligero exceso de betún caliente en cada anillo (Ver **Fotografía E 13.3.**) y entonces deje los especimenes enfriarse a temperatura ambiente por al menos 30 min (Ver **Fotografía E 13.4.**). Para materiales que son blandos a la temperatura ambiente, enfríe los especimenes por al menos 30 min a una temperatura mínima de 10 ° C (18 ° F), abajo del punto de ablandamiento esperado. Desde que los especimenes ya han sido vertidos, no deberán transcurrir más de 240 min antes de la finalización del ensayo.



Fotografía E 13.3. **Vertiendo el asfalto en los anillos.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

9.2 Cuando los especimenes se hayan enfriado, corte el betún excedente con un cuchillo o espátula ligeramente calentado, a fin de que cada muestre esté a ras y nivelada en la parte superior de su anillo.



Fotografía E 13.4. **Anillos en reposo, antes de realizar el ensayo.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

10. PROCEDIMIENTO

10.1 Seleccione uno de los siguientes líquidos de baño y los termómetros apropiados para el punto de ablandamiento esperado:

El agua destilada frescamente hervida, (Ver **Fotografía E 13.5.**), para puntos de ablandamiento entre 30 y 80 °C (86 y 176 ° F) (Ver **Fotografía 3.5.**); use el termómetro 15C o 15F. La temperatura inicial del baño será de 5 ± 1 °C (41 ± 2 °F).

Fotografía E 13.5. **Liquido del baño agua destilada a 5 ºC temperatura de inicio del ensayo.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

10.1.1 Glicerina USP, para puntos de ablandamiento arriba de 80 °C (176 °F) hasta 157 °C (315 °F); use el termómetro 16C o 16 F. La temperatura inicial del baño será de 30 ± l °C (86 ± 2 °F).

10.1.2 Glicol Ethileno, para puntos de ablandamiento entre 30 y 110 ° C (86 y 230 ° F); use el termómetro 16C o 16F. La temperatura de baño inicial será 5 ± 1 °C (41 ± 2 ° F).

10.1.3 Para propósitos de referencia, todos los puntos de ablandamiento hasta 80 °C (176 ºF) serán determinados en un baño maría y todos los puntos de ablandamientos por encima de 80 ° C (176 ° F) serán determinado en un baño de glicerina.

10.2 Ensamble el equipo en un laboratorio techado con los anillos llenos de muestra, las guías que centran las esferas y el termómetro en su posición correcta, llene el baño logrando una profundidad de 105 ± 3 mm (4 1/8 ± 1/8 > pulg) de liquido con el equipo en su lugar. Al usar Glicol Ethileno, por seguridad coloque el equipo bajo el extractor de aire y verifique que opere para remover los vapores tóxicos. Usando pinzas, coloque las

dos esferas en el fondo del baño para que alcancen la misma temperatura de inicio como el resto del equipo ensamblado.

10.3 Si es necesario coloque el beaker en agua helada, o caliente cuidadosamente para establecer y mantener la temperatura de inicio adecuada del baño por 15 min con el equipo en su lugar. Tenga cuidado para no contaminar el líquido del baño.

10.4 Otra vez usando pinzas, coloque las esferas en la muestra y céntrelas con cada guía. (Ver **Fotografía E 13.6.**).

Fotografía E 13.6. **Vista de los anillos, las esferas y las guías ensambladas.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

10.5 Caliente el beaker desde la parte inferior, a fin de que la temperatura indicada por el termómetro se eleve a una tasa uniforme de 5 °C (9 ° F)/ min (**NOTA 7**). Proteja el beaker de corrientes de aire, usando escudos si es necesario. No promedie la tasa de elevación de temperatura sobre el período de ensayo. La máxima variación permisible para cualquier período 1-min, después de los primeros 3 min será ± 0.5 ° C (± 1.0 ° F). Rechace cualquier ensayo en el cual la tasa de elevación de temperatura no este dentro de estos límites.

NOTA 7 La adhesión rígida para la tasa prescripta de calentamiento es esencial para reproducir los resultados. Ya sea utilizando un mechero de gas o un calentador eléctrico, por último debe estar en el punto bajo rezáguese (low-lag), el tipo variable de salida para mantener la tasa prescripta de calefacción.

10.6 Registre para cada anillo y cada esfera la temperatura indicada por el termómetro en el instante en que el betún alrededor de la esfera toca la placa del fondo (Ver **Fotografía E 13.7.**). No haga corrección en el termómetro. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede a 1 ° C (2 ° F), entonces repita el ensayo.

Fotografía E 13.7. **Punto de Ablandamiento. Temperatura registrada cuando las esferas caen envueltas de asfalto.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

11. CALCULOS

11.1 Para un espécimen determinado de betún, el punto de ablandamiento determinado en un baño de agua será menor que el determinado en un baño de glicerina. Ya que la determinación del punto de ablandamiento es necesariamente arbitraria, esta diferencia importa sólo para puntos de ablandamiento ligeramente arriba de 80 ° C (176 °F).

11.2 El cambio de agua a glicerina para puntos de ablandamiento por encima de 80 °C crea una discontinuidad. Redondeando, el punto de ablandamiento mínimo posible del

asfalto registrado en glicerina es 84.5 ° C (184 °F) y el punto de ablandamiento mínimo posible de alquitran registrado en glicerina es 82 °C (180 ºF). Los puntos de ablandamiento en glicerina más bajos que estos se traducen a puntos de ablandamiento en agua de 80 °C (176 °F) o menores, y así serán reportados.

11.2.1 La corrección para asfalto es - 4.2 °C (-7.6 °F), y para alquitran es -1.7 °C (-3.0 °F). Para propósitos de referencia, repita la prueba en un baño de agua.

11.2.2 Bajo cualquier circunstancia, si el término medio de las dos temperaturas determinadas en glicerina es 80.0 °C (176.0 ° F) o menores para asfalto, o 77.5 ° C (171.5 ° F) o menores para el alquitran, repita el ensayo en un baño de agua.

11.3 Para convertir puntos de ablandamiento ligeramente por encima de 80 °C (176 ° F) determinado en agua para aquéllos determinados en glicerina, la corrección para asfalto es + 4.2 °C (+ 7.6 °F) y para alquitrán es + 1.7 °C (+ 3.0 °F). Para los propósitos de referencia, repita el ensayo en un baño de glicerina.

11.3.1 Bajo cualquier circunstancia, si el término medio de las dos temperaturas determinadas en agua es 85.0 ° C (185.0 ° F) o mayor, repita el ensayo en un baño de glicerina.

11.4 Los resultados obtenidos usando un baño de glicol ethileno variarán con aquellos utilizando agua y glicerina.

Las siguientes fórmulas se usarán para calcular las diferencias:

Asfalto:

SP (glicerina) = 1.026583 x SP (ethylene glycol) - 1.334968ºC

SP (agua) = 0.974118 x SP (ethylene glycol) - 1.44459ºC

Alquitrán (Coal Tar):

SP (glicerina) = 1.044795 x SP (ethylene glycol) - 5.063574ºC

SP (agua) = 1.061111 x SP (ethylene glycol) - 8.413488ºC

12. REPORTE

12.1 Cuando utilice un termómetro ASTM 15Co 15F, reporte con aproximación de 0.2 ° C o 0.5 º F el promedio o el promedio corregido de las temperaturas registradas en 9.6 como punto de ablandamiento.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL ASFALTO (AASHTO T 53-96(2000), ASTM D 36-95)

Solicitante: Universidad de El Salvador

Proyecto: Trabajo de Graduación

Procedencia: Planta Multipav,

Ubicación: Guazapa

Material: Asfalto 60-70

Laboratorista:

Fecha de ensayo:

DESCRIPCION	VALORES
Liquido del Baño Tipo de Termómetro	Agua Destilada ASTM 15C
Temperatura de inicio del Ensayo	5ºC +/- 1ºC
Punto de Ablandamiento Esfera Izquierda ºC	54.2
Punto de Ablandamiento Esfera Derecha ºC	55.0
Punto de Ablandamiento Esfera Promedio ºC	54.6
Error ºC	0.8
Observaciones:	

Ensayo No. 14.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMI-SÓLIDOS.

Basado en norma AASHTO: T 228-04
Con equivalencia en ASTM: D 70-03

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir el procedimiento del ensayo.
- Identificar el material y equipo utilizado para la realización de este ensayo.
- Calcular el valor de la Gravedad Especifica del asfalto
- Identificar el equipo que se utiliza para este ensayo.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica y la densidad de materiales bituminosos semisólidos, cementos asfálticos, betunes y alquitranes blandos por medio de un picnómetro de un picnómetro.

NOTA 1— Un método alternativo para determinar la densidad de materiales bituminosos semisólidos y sólidos es el Método de Ensayo ASTM D 3289. Para materiales que son demasiado fluidos para ser ensayados por éste método, utilice el Método de Ensayo ASTM D 3143.

2.2 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

***NOTA** – Un asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios en la norma ASTM: D 70-03 según lo establece la norma AASHTO: T 228-04.*

3. DOCUMENTOS DE REFRENCIA

3.1 (*) Normas AASHTO:

R 2 Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Materiales de Construcción.

T 40 Practica para el Muestreo de Materiales Bituminosos;
T 295 Método de Ensayo para Densidad de Asfaltos Líquidos (Método del Hidrómetro).
(*) M 231 Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos.

3.2 Normas ASTM:
D 3289 Método de Ensayo para Densidad de Materiales Bituminosos Sólidos y Semi Sólidos (Método Crisol Níquel)
D 4311 Práctica para Determinar la Corrección de Volumen de Asfalto a una Temperatura Dada.
E 1 Especificaciones para termómetros ASTM.

4. TERMINOLOGÍA

4.1 *Definiciones de Términos Específicos para Esta Norma*:
4.1.1. *Densidad*.— La masa por unidad de volumen de un material.
4.1.2 *Densidad Relativa*.— La relación entre la masa de un volumen dado de un material y la masa del mismo volumen de agua a la misma temperatura. (Ver **NOTA 2**).

NOTA 2 — Densidad Relativa también es conocida como Gravedad Específica

5. RESUMEN DEl MÉTODO DE ENSAYO.

5.1 La muestra es colocada en un picnómetro calibrado. El picnómetro y la muestra son pesados, entonces el volumen restante del picnómetro es llenado con agua. El picnómetro lleno es llevado a la temperatura de ensayo, y se pesa. La densidad de la muestra es calcula en base a su masa y masa de agua desplazada por la muestra en el picnómetro lleno.

6. SIGNIFICADO Y USO.

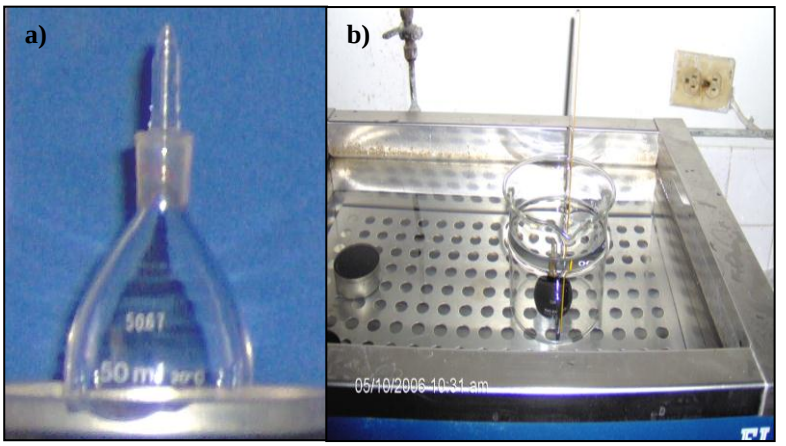
6.1. Los valores de densidad son usados para convertir volúmenes a unidades de masa, y para corregir volúmenes medidos a una temperatura determinada a una temperatura estándar usando el método de ensayo ASTM D 4311.

7. EQUIPO

7.1 *Picnómetro* — de vidrio, que consiste en un contenedor cilíndrico ó cónico, cuidadosamente moldeado para recibir un tapón de vidrio que se acopla adecuadamente, de 22 a 26 mm de diámetro. El tapón tendrá un agujero de 1.0 a 2.0 mm de diámetro, centrado con respecto a su eje vertical. La superficie superior del tapón será fina y sustancialmente plana, y la superficie inferior será cóncava para permitir que todo el aire escape a través del agujero. La altura de la sección cóncava será de 4.0 a 18.0 mm en el centro. El picnómetro tapado tendrá una capacidad de 24 a 30 ml y pesará no más de 40 g. Un picnómetro se muestra en **Fotografía E 14.1.(a).**

7.2 *Baño de María*.— Capaz de mantener una temperatura constante con variaciones de 0.1 ° C en la temperatura de ensayo.

7.3. *Termómetro de vidrio.*— calibrado (con líquido Hg), tipo de inmersión total, de un rango adecuado con graduaciones de 0.1 ° C y un error máximo de escala de 0.1° C como se prescribe en la Especificación E 1. El termómetro comúnmente usado es ASTM 63 °C. Los termómetros anteriores ASTM 63F pueden ser usados hasta que los suministros estén agotados. Cualquier otro tipo de termómetro de igual exactitud puede ser usado.



Fotografía E 14.1.

Picnómetro y Baño de María
a) Picnómetro cónico con tapón
b) Picnómetro con muestra en el baño de maría

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

8. MATERIALES

8.1 *Agua.*— Recién hervida e enfriada, destilada ó des-ionizada.

9. MUESTREO

9.1. Tome muestras de acuerdo a la práctica AASHTO T 40. La muestra deberá estar libre de sustancias extrañas.

9.2. Mezcle completamente la muestra antes de remover una porción representativa para realizar el ensayo.

10. PREPARACIÓN DEL EQUIPO.

10.1. En un beaker de 600 ml llénelo parcialmente agregando en la parte baja agua fría recién hervida, destilada ó des-ionizada a un nivel que permita que la parte superior del picnómetro esté sumergida a una profundidad no menor de 40 mm.

10.2. Sumerja parcialmente el beaker en el baño de maría a una profundidad suficiente para dejar el fondo del beaker sumergido a una profundidad no menor de 10 cm, mientras la parte superior del beaker está por encima del nivel del agua del baño de Maria. (*) Use cualquier Método conveniente para asegurar que el beaker no se voltee en el baño de María y la circulación del agua del baño alrededor del beaker no sea restringida.

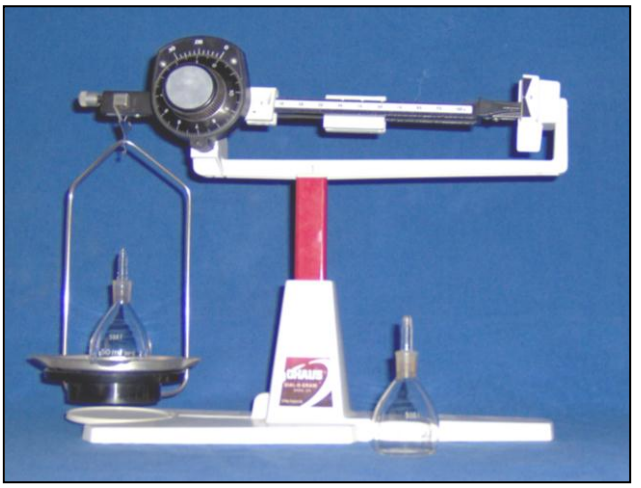
10.3 Mantenga la temperatura del baño de María a 0.1 ° C de la temperatura de ensayo.

11. CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

11.1. Lave totalmente, limpie y luego pese el picnómetro con aproximación de 1 mg. Designe ésta masa como A. Ver **Fotografía E 14.2.**

11.2 Llene el picnómetro con agua recién hervida, destilada ó des-ionizada a la temperatura de ensayo y coloque el tapón en el picnómetro. No permita que ninguna burbuja de aire quede atrapada en el picnómetro. Coloque el picnómetro lleno en el beaker. Luego devuelva el beaker al baño de maría.

NOTA 3 — La calibración debe realizada a la temperatura de ensayo. Un picnómetro calibrado a una temperatura no puede ser usado a una temperatura diferente sin antes recalibrarlo a esa temperatura.



Fotografía E 14.2. **Obtención de la masa del picnómetro**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

11.3 Permita que el picnómetro permanezca en el agua por un período no menor de 30 min. Remueva el picnómetro, seque inmediatamente la parte superior del tapón con una toalla seca (papel toalla) (**NOTA 4**), luego la parte exterior del picnómetro y tome su peso con aproximación de 1 mg. Designe la masa del picnómetro más agua como B.

NOTA 4 — No seque la parte superior del tapón aun si una gotita pequeña de agua se forma como resultado de la expansión. Si la parte superior es secada en el instante de remover el picnómetro del agua, entonces la masa correcta del contenido a la temperatura de ensayo será registrada. Si la humedad se condensa en el picnómetro durante el pesado, seque nuevamente la parte externa del picnómetro (excepto la parte superior) antes de registrar la masa.

12. PROCEDIMIENTO

12.1 *Preparación de la muestra*.— Caliente la muestra con cuidado, lentamente para evitar recalentamiento local, hasta que la muestra se haya fluidificado suficientemente para ser vertida. En ningún caso la temperatura deberá ser mayor de 55 ° C por encima del punto de ablandamiento esperado para alquitrán, o más de 110 ° C por encima del punto de ablandamiento esperado para asfalto. (*) No se caliente por más que 60 min.

sobre una flama o un plato caliente ó por más de dos horas en un horno, y evite que burbujas de aire se incorporen en la muestra. Ver **Fotografía E 14.3.**

12.2. Vierta suficiente muestra caliente en el picnómetro limpio y seco, aproximadamente hasta tres cuartos de su capacidad. Evite que el material toque la pared superior a nivel del cuello del picnómetro y prevenga la inclusión de burbujas de aire (**NOTA 5**). Permita que el picnómetro y sus contenidos se enfríen a la temperatura ambiente por un período no menor de 40 min. y péselo con el tapón con una aproximación de 1mg. Designe la masa del picnómetro más muestra de asfalto como C. Ver **Fotografía E 14.4.** para pesado de picnómetro con muestra de asfalto.

NOTA 5 — Si cualquier burbuja de aire es introducida inadvertidamente, remueva calentando la superficie del asfalto en el picnómetro con una flama "Suave" de un quemador bunsen. Para evitar el recalentamiento, no permita que la flama entre en contacto con el asfalto más que algunos pocos segundos.

12.3. (*) Llene el picnómetro con agua recién hervida, des-ionizada ó destilada a la temperatura de ensayo y coloque el tapón en el picnómetro. No permita que ninguna burbuja de aire quede atrapada en el picnómetro. Coloque el picnómetro lleno en el beaker.

12.4 Permita que el picnómetro se mantenga en el baño de María por un período no menor de 30 min. Remueva el picnómetro del baño de María. Séquelo y pese usando la misma técnica y tiempo como la empleada en la sección 11.3. Designe esta masa de picnómetro más muestra de asfalto más agua como D. Ver picnómetro más muestra más agua en **Fotografía E 14.5.(a).**

13. CALCULOS

13.1 Calcule la densidad relativa con aproximación a 0.001 como sigue:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{(C - A)}{[(B - A) - (D - C)]} \qquad (1)$$

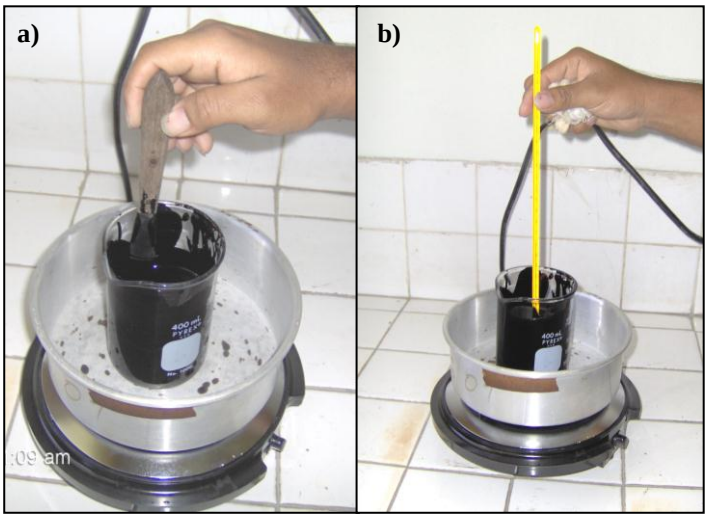
Donde:

A = masa de picnómetro (más tapón)

B = masa del picnómetro lleno de agua.

C = masa del picnómetro parcialmente llenó de asfalto, y

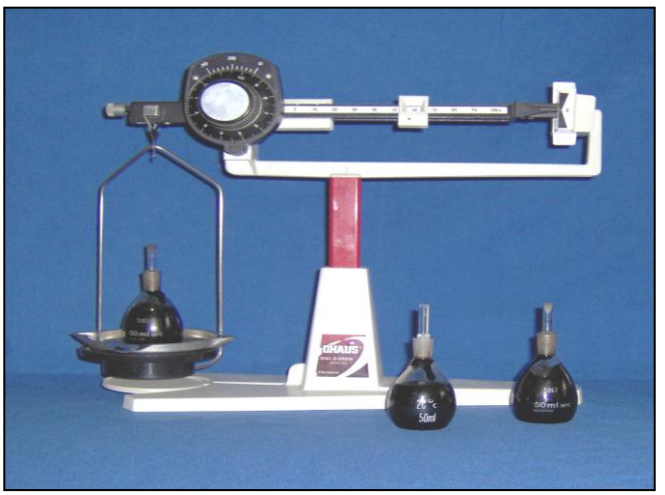
D = masa del picnómetro mas muestra de asfalto más agua.



Fotografía E 14.3.

Preparación del asfalto para obtener las muestras de ensayo.
a) Calentamiento y homogenización del asfalto,
b) Verificación de la temperatura del asfalto.

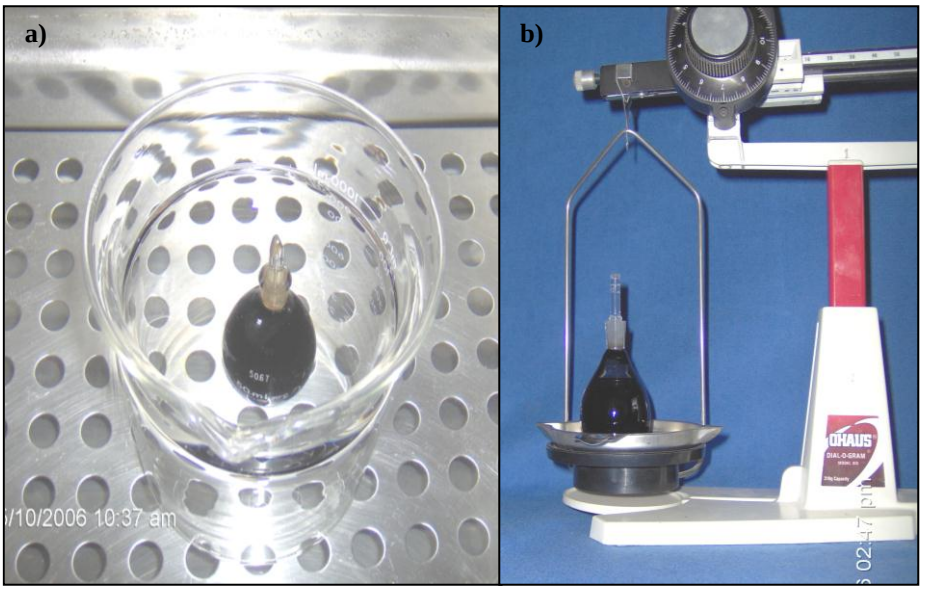
Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Fotografía E 14.4.

Pesado de Picnómetro más Muestra de Asfalto.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Fotografía E 14.5.

Pesado de Picnómetro más Muestra de Asfalto más Agua.
a) Picnómetro en baño maría por 30 min.
b) Masa del picnómetro.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

13.1 Calcule la densidad con aproximación a 0.001 como sigue:

Densidad = gravedad específica x W_T (2)

Donde:

W_T = densidad del agua a la temperatura de ensayo (**NOTA 6**).

NOTA 6 - Densidad del agua de CRC Handbook of Chemistry Phisics:

Tabla E 14.1 **Densidad del agua a temperatura de ensayo.**

Temperatura ˚C	Densidad de Agua, Kg/m^3
15.0	999.1
25.0	997.0

14. REPORTE

14.1 Reporte la densidad con aproximación a **1 Kg/m^3** y la temperatura de ensayo.

15. PRECISIÓN Y TENDENCIAS

15.1 *Precisión de un solo operador*.— La desviación estándar de un sólo operador para la densidad relativa de materiales bituminosos semi-sólidos es de 0.0013 en 15.6 ˚C y 0.00082 en 25.0 ˚C. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados correctamente por el mismo operador en el mismo material no deberán diferir por más que los siguientes valores (vea **NOTA 6**):

Tabla E 14.2. **Densidad relativa de materiales bituminosos.**

Temperatura de Ensayo, ˚C	Densidad, Kg/m^3
15.0	3.7
25.0	2.3

15.2 *Precisión de Multilaboratorios*.— La desviación estándar de multilaboratorio para la densidad relativa de materiales bituminosos semi-sólido es de 0.0024 en 15.6 ˚C y 0.0019 en 25.0 ˚C. Por consiguiente, los resultados de dos pruebas correctamente ensayadas por dos laboratorios en muestras del mismo material no deberán diferir por más de los siguientes valores (vea **NOTA 6**):

Tabla E 14.3. **Densidad relativa de materiales bituminosos.**

Temperatura de Ensayo, ˚C	Densidad, Kg/m^3
15.0	6.8
25.0	5.4

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO PARA DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

(AASHTO T 228-04, ASTM D70 - 03)

Solicitante: Universidad de El Salvador
Proyecto: Trabajo de Graduación
Procedencia: Planta Multipav,
Ubicación: Guazapa
Material: Asfalto 60-70
Laboratorista:
Fecha de ensayo:

DESCRIPCION	M - 1	M - 2	M -3
Peso del picnómetro seco y limpio con tapón (g) (W_{pic})	29.81	24.33	29.31
Peso del picnómetro lleno con agua (g) ($W_{pic + agua}$)	80.43	74.20	79.82
Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto (g) ($W_{pic + asfalto}$)	70.57	64.04	69.54
Peso del picnómetro + agua + asfalto (g) ($w_{pic + agua + asaflto}$)	80.87	74.63	80.25
Temperatura de Ensayo (^oC)	25	25	25
Gravedad Específica (G.E) : ($W_{pic + asf}$ - W_{pic}) / (($W_{pic +agua}$ - W_{pic}) - ($W_{pic + agua + asf}$ - $W_{pic + asf}$))	1.011	1.011	1.011
Gravedad Específica (G.E) promedio:		**1.011**	
D = W_T x (G.E.) Densidad(D): Densidad del agua a la temperatura de ensayo x (G.E.) (Kg/m^3)	1008	1008	1008
(W_T) Densidad del agua a 15^{o}C = 999,1 Kg/m^3			
(W_T) Densidad del agua a 25^{o}C = 997,0 Kg/m^3			

Observaciones:

Ensayo No. 15.

PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS.

Basado en norma AASHTO: T 49-03
Con equivalencia en ASTM: D 5-97

1.0 OBJETIVO

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir el procedimiento del ensayo.
- Identificar el material y equipo utilizado para la realización de este ensayo.
- Determinar la consistencia del cemento asfáltico.

2.0 ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración en materiales bituminosos sólidos y semi-sólidos.

2.2 Las agujas, las capsulas y otras condiciones descritas en este método de ensayo tienen previstas determinaciones de penetraciones hasta 500.

2.3 Los valores presentados en unidades SI deben ser considerados como estándar.

2.4 Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso, si existe alguno. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

***NOTA** – Un asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios en la norma ASTM: D 5-97 según lo establece la norma AASHTO T 49-03.*

3.0 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

T 53 Método Estándar de ensayo para Punto de Ablandamiento del Asfalto (Método: El anillo y la Esfera)

3.2 Normas ASTM:

C 670, Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

E 1 Especificación para Termómetros ASTM.

E77 Método de ensayo para la Inspección y Verificación de Termómetros Líquidos y Gaseosos.

3.3 Norma ANSI:

B46.1 Textura de la Superficie.

3.4 Norma ISO:

Estándar ISO 468 Parámetros de Rugosidad Superficial, sus Valores y Reglas Generales para Requerimientos Específicos.

4.0 TERMINOLOGIA

4.1 *Definiciones:*

4.1.1 Penetración,n.— consistencia de un material bituminoso expresado como la distancia en décimas de milímetro, cuando una aguja estándar penetra verticalmente una muestra de material bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura.

5.0 RESUMEN DEL METODO DE ENSAYO

5.1 La muestra es derretida y enfriada bajo condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrometro por medio del cual una aguja estándar es aplicada a la muestra bajo condiciones específicas.

6.0 SIGNIFICADO Y USO

6.1 El ensayo de penetración es utilizado como una medida de la consistencia. Valores altos de penetración indican una consistencia más blanda.

7.0 EQUIPO

7.1 *Equipo de penetración.*— Cualquier equipo que permita sujetar la aguja (al eje) para realizar un movimiento vertical sin fricción que puede medir y sea capaz de indicar la profundidad de penetración con una aproximación de 0.1 mm, lo cual será aceptable.

El peso del eje será 47.5 ± 0.05 g. El peso total de la aguja sujetada al eje será 50.0 ± 0.05 g. Los pesos de 50 ± 0.05 g y 100 ± 0.05 g también estarán previstos para cargas totales de 100 g y 200 g, según lo solicitado por las condiciones de ensayo. La superficie de la capsula será plana y el eje del émbolo estará aproximadamente a 90° de esta superficie. El eje deberá ser fácilmente separado para comprobar su peso.

Tabla E 15.1 **Criterios de Precisión.**

Material	**Desviación estándar o Coeficiente de Variación (Is) o (Is %)**	**Rango Aceptable de Dos Resultados de Ensayo (d2s) o (el % d2s)**
Precisión de un solo operador:		
Asfaltos a 77 ° F (25 °C) abajo de 50 unidades penetraciones	0.35	1
Asfaltos a 77 ° F (25 ° C) 60 unidades de penetración y mayor, porcentaje de su término medio	1.4	4
Betunes de alquitrán a 77°F (25°C)[a] porcentaje de su termino medio	5.2	15
Precisión de multi-laboratorios:		
Asfaltos a 77 ° F (25 °C) abajo de 50 unidades de penetraciones	1.4	4
Asfaltos a 77 ° F (25 ° C) 60 unidades de penetración y mayor, porcentaje de su término medio	3.8	11
Betunes de alquitrán a 77°F (25°C)[a] porcentaje de su termino medio	1.4	4

[a] Las estimaciones de precisión para betunes de alquitrán se basa en el resultado de 2 betunes con penetración de 7 y 24. Las estimaciones no pueden ser aplicables para materiales sensiblemente más duros o mas blandos.

7.2 *Aguja de penetración:*

7.2.1 La aguja (ver **Figura E 15.1.**) será hecha de acero inoxidable completamente endurecido y templado, Grado 440-C o igual, HRC 54 a 60. La aguja estándar será aproximadamente de 50 mm (2 pulg) de largo, el largo máximo de la aguja será aproximadamente de 60 mm (2.4 pulg). El diámetro de todas las agujas será 1.00 a 1,02 mm (0.0394 a 0.0402 pulg). La cual será simétricamente desbastada terminando en un cono afilado, el cual debe tener un ángulo entre 8.7 y 9.7 ° sobre el largo entero del cono. El cono deberá hallarse coaxialmente con el cuerpo recto de la aguja. La variación axial total de la intersección entre las superficies cónicas y rectas no será mayor de 0.2 mm (0.008 pulg). La punta del cono truncado estará dentro de los límites del diámetro de 0.14 a 0.16 mm (0.0055 a 0.0063 pulg) y una desviación con el eje de la aguja dentro de 2°. El borde entero de la superficie truncada a la punta será afilada y libre de rebabas. Cuando la textura de la superficie esté medida de acuerdo con American National Standard B 46.1 o ISO 468 la medida de rugosidad de la superficie, Ra, del cono terminado en filo será de 0.2 a 0.3μm (8 a 12 μ pulg) del promedio aritmético. La cota de rugosidad de la superficie, Ra, del cuerpo de la aguja será de 0.025 a 0.125 μm (1 a 5 μpulg). La aguja será colocada con una abrazadera de refuerzo metálico no corrosivo. La abrazadera de refuerzo será de 3.2 ± 0.05 mm (0.126 ± 0.002 pulg) de diámetro y 38 ± 1 mm (1.50 ± 0.04 pulg) de largo. El largo expuesto de la aguja estándar estará dentro de los límites de 40 a 45 mm (1.57 a 1.77 pulg), y el largo expuesto de la aguja mas larga será de 50 a 55 mm (1.97 a 2.19 pulg). La aguja será colocada rígidamente en la abrazadera de refuerzo. El recorrido (indicador total de la lectura, dial) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativo al eje de la abrazadera de refuerzo no excederá a 1 mm (0.04 pulg). El peso de la abrazadera de refuerzo de la aguja ensamblada será de 2.50 ± 0.05 g. (Taladre orificios al final de la abrazadera de refuerzo o una hendidura a un lado es permitido para controlar el peso.). Las marcas individuales de identificación serán colocadas en la abrazadera de refuerzo de cada aguja; las mismas marcas no serán repetidas por un fabricante dentro de un período de 3 años.

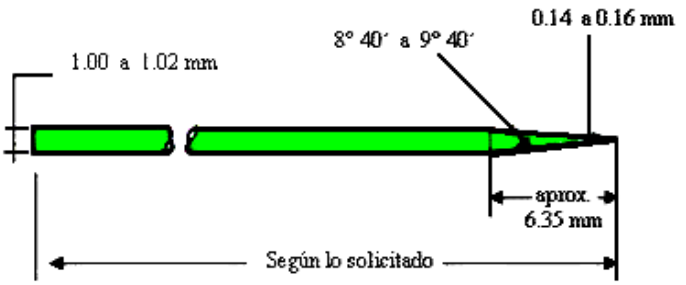


Figura E 15.1 **Aguja para el Ensayo de Penetración.**

7.2.2 Las agujas utilizadas en ensayo de materiales conforme a las especificaciones serán mostradas teniendo en cuenta los requisitos de la Sección 7.2.1 cuando han sido ensayadas por una agencia calificada.

7.3 *Capsula.*— Una capsula cilíndrica metálica o de vidrio, esencialmente de fondo plano con las siguientes dimensiones, será utilizado:

Tabla E 15.2 **Dimensiones de la capsula.**

Para penetraciones abajo de 200	
Diámetro, mm	55
Profundidad interna, mm	35
Para penetraciones entre 200 y 350	
Diámetro, mm	55
Profundidad interna, mm	70

7.4 *Baño de María.*— El baño de maría debe tener una capacidad de al menos 10 L y ser capaz de mantener una temperatura de 25 ± 0.1 ° C o cualquier otra temperatura de ensayo dentro de 0.1 ° C. El baño dispondrá de un estante perforado en una posición no menor de 50 mm del fondo y por lo menos a 100 mm bajo el nivel del agua durante el baño de maría. Si los ensayos de penetración tienen que ser hechos en el baño de María,

entonces un estante adicional lo suficientemente fuerte deberá ser colocado para soportar el penetrometro. Agua con sal puede ser usada durante el baño para determinaciones a bajas temperaturas.

NOTA 1. El uso de agua destilada es recomendado para el baño. Evite la contaminación del agua por agentes superficiales activos, agentes sueltos, u otros productos químicos; la presencia de estos puede afectar los valores obtenidos de penetración.

7.5 *El plato de transferencia*.— Cuándo use, el plato de transferencia, deberá tener una capacidad de al menos 350 ml y la suficiente profundidad de agua para cubrir la capsula que contiene la muestra. Será provisto de algún medio para obtener un apoyo firme y evitar que la capsula se balancee o mueva. Una posición en trípode con contacto en tres puntos de la capsula con la muestra es una forma conveniente de asegurarlo.

7.6 *Cronometro.*— Para operar penetrometros manuales cualquier dispositivo de cronometraje es conveniente como un cronometro eléctrico, un reloj de pulsera, u otro dispositivo que se active eléctricamente puede ser utilizado teniendo una aproximación de 0.1 s o menos y una precisión dentro de ± 0.1 para intervalos de 60 s. Un contador de segundos audible ajustado para proveer 1 pulsación cada 0.5 s también puede ser usado. El tiempo para un intervalo de 11 vueltas debe ser 5 ± 0.1 s. Cualquier dispositivo de cronometraje automático adjunto a un penetrometro debe ser exactamente calibrado para proveer el intervalo de ensayo deseado dentro de ± 0.1 s.

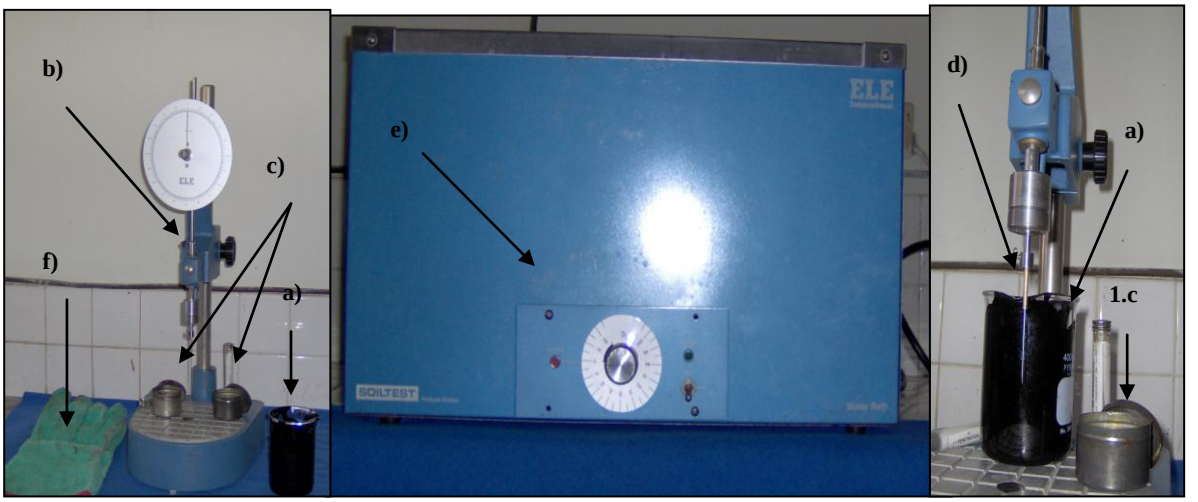
7.7 *Termómetros.*— Los termómetros (de líquido en vidrio) serán calibrados dentro de un rango adecuado con subdivisiones y el error máximo en la escala de 0.1 °C (0.2 ° F) o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud, precisión y de igual sensibilidad podrán ser utilizados. Termómetros conforme a los requisitos de la especificación E1.

7.7.1 Los termómetros adecuados comúnmente usados son:

Tabla E 15.3. **Termómetros adecuados.**

Numero ASTM	Rango
7C o 17F	19 a 27°C (66 a 80°F)
63C o 63F	-8 a 32°C (18 a 89°F)
64Co 64F	25 a 55°C (77 a 131°F)

7.7.2 El termómetro usado para el baño de maría será calibrado periódicamente conforme al método de ensayo E 77.



Fotografía E 15.1. **Equipo: a) Muestra de asfalto b) Penetrometro c) Recipientes para muestra d) Aguja de penetración e) Baño maría f) Guantes g) Capsula**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

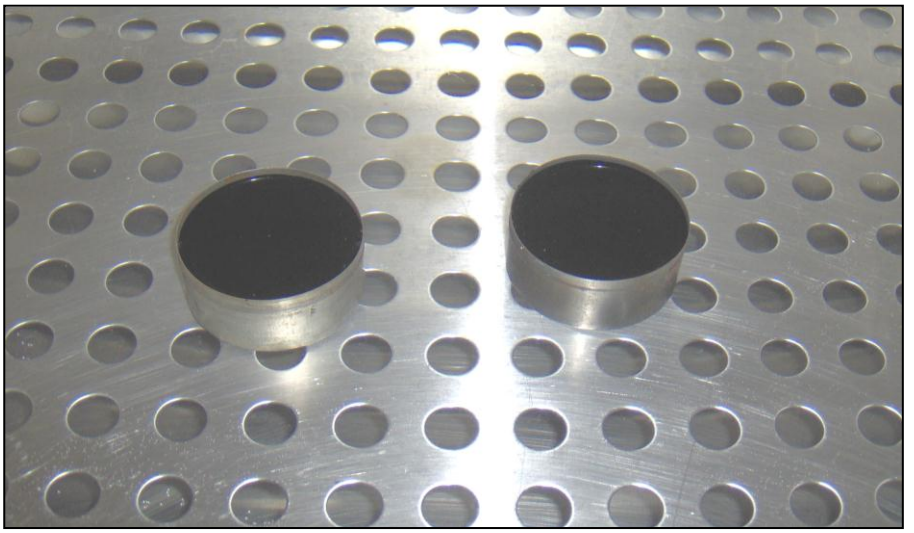
8.0 PREPARACION DE LA MUESTRA

8.1 Caliente la muestra con cuidado, moviéndola las veces que sea posible para prevenir recalentamiento local, hasta que se haya puesto suficientemente fluido para verter. En ningún caso la temperatura debería ser mayor a 60 °C por encima del punto de ablandamiento esperado para el betún de alquitrán de acuerdo con el método de ensayo AASHTO T 53, o mayor de 90°C por encima del punto de ablandamiento esperado, para

asfalto derivado de petróleo (betún). No caliente las muestras por más de 30 min. Evite la incorporación de burbujas en la muestra.

8.2 Vierta la muestra en la capsula a una profundidad tal que, cuando sea enfriado a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea al menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual la aguja se espera que penetre. Vierta una porción para cada variación en las condiciones de ensayo.

8.3 Cubra cuidadosamente la capsula con una protección contra el polvo (una forma conveniente de hacer esto es cubriendo la con un vaso de laboratorio (beaker) y deje enfriar al aire hasta una temperatura entre 15 y 30 °C por 1 a 1.5 h para la capsula pequeña y 1.5 a 2 h para las mas grandes. Luego coloque la muestra en el plato de transferencia, si es utilizado, en el baño de maría mantenido la temperatura prescripta para efectuar el ensayo (Ver **Fotografía E 15.2.**). Mantenga la capsula más pequeña entre 1 a 1.5 h y la más grande (6 oz) entre 1.5 a 2 h en el baño de maría.



Fotografía E 15.2. **Muestras colocadas en el baño maría.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

9.0 CONDICIONES DE ENSAYO

9.1 Cuando las condiciones de ensayo no son especificadas queda entendido que la temperatura, la carga, y el tiempo deben ser 25 °C (77 °F), 100 g, y 5 s, respectivamente. Otras condiciones pueden ser usadas para ensayo especial, como las siguientes:

Tabla E 15.4. Otras condiciones de ensayo.

Temperatura, °C (°F)	Carga, g	Tiempo, s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
45 (113)	50	5
46.1(115)	50	5

En tales casos, las condiciones específicas de ensayo deberán ser reportadas.

10.0 PROCEDIMIENTO

10.1 Examine la abrazadera de la aguja y la guía para establecer la ausencia de agua y otros materiales extraños. Si se espera que la penetración exceda de 350, usar una aguja mas larga, caso contrario usar una aguja pequeña. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, secar con una tela limpia absorbente, e introduzca la aguja en el penetrometro. Salvo indicación contraria coloque el peso de 50-g por encima de la aguja, haciendo un peso total de 100 ± 0.1 g.

10.2 Si el ensayo debe ser realizado con el penetrometro en el baño de maría, entonces coloque la capsula con la muestra directamente en la base sumergida del penetrometro (**NOTA 2**). Conserve el contenedor de la muestra completamente cubierto de agua durante el baño. Si el ensayo debe ser realizado con el penetrometro fuera del baño, entonces coloque la capsula con la muestra en el plato de transferencia, (Ver **Fotografía E 15.3.**), cubra completamente la capsula con agua a una temperatura constante durante el baño y coloque el plato de transferencia en la base del penetrometro.

NOTA 2-Para ensayos de referencia, las penetraciones a temperatura diferente a 25 ° C (77 ° F) deberán ser realizadas sin remover la capsula con la muestra del baño de maría.

10.3 Posicione la aguja bajándola lentamente, hasta que la punta establezca contacto con la superficie de la muestra. Esto se realiza colocando la punta de la aguja en contacto con su imagen reflejada en la superficie de la muestra, colocándola apropiadamente con la fuente de luz (**NOTA 3**). (Ver **Fotografía E 15.4.**).

Fotografía E 15.3. **Conservando la muestra en el baño maría, verificando la temperatura de ensayo.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Fotografía E 15.4. **Imagen de la aguja reflejada en la superficie de la muestra.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 3-La colocación de la aguja puede ser auxiliada usando un tubo iluminado de methacrylate de polimetilo.

Anote la lectura del dial del penetrometro o lleve el dial a cero. Rápidamente suelte la abrazadera de la aguja por el período de tiempo especificado y ajuste el instrumento para medir la distancia que penetró en décimas de milímetro (Ver **Fotografía E 15.5.**).

Si la capsula se mueve, entonces ignore el resultado.

Fotografía E 15.5. **Lectura del dial final.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

10.4 Realice por lo menos tres determinaciones en distintos puntos en la superficie de la muestra, a no menos de 10 mm de la pared de la capsula y no menos de 10 mm de separación entre los puntos. Si el plato de transferencia es usado, entonces devuelva la muestra y el plato de transferencia al baño de maría, hasta una temperatura constante, entre las diferentes penetraciones. Use una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200, use al menos tres agujas dejándolas en la muestra hasta que las tres penetraciones sean completadas.

11.0 REPORTE

11.1 Reporte al entero mas próximo el promedio de tres penetraciones, cuyos valores no difieran por más de lo siguiente:

Tabla E 15.5. **Promedio de tres penetraciones.**

Penetración	**0 a 49**	**50 a 149**	**150 a 249**	**250 a 500**
La diferencia máxima entre la penetración más alta y mínima	2	4	12	20

12.0 PRECISION Y ERROR

12.1 Use los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de resultados de penetración para asfalto a 25 ° C. La precisión a otras temperaturas aun esta siendo determinada.

12.1.1 *La precisión de un solo Operador.*— La variación individual del operador se ha encontrado es 1.4 % para penetraciones por encima de 60, y la desviación estándar del un solo operador se ha encontrado es 0.35 % para penetraciones abajo de 50. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados correctamente por el mismo operador en el mismo material de cualquier penetración, usando el mismo equipo, no deberán diferir el uno del otro por más del 4 % de su promedio, o una unidad, la que sea mayor.

12.1.2 *Precisión Multilaboratory.*— El coeficiente de variación multilaboratorio se ha encontrado es 3.8 % para penetraciones por encima de 60, y la desviación estándar de multilaboratorio se ha encontrado es 1.4 para penetraciones abajo de 50. Por lo consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados correctamente en el mismo material de cualquier penetración, en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir el uno del otro por más de 11 % de su promedio, o 4 unidades, la que sea mayor.

NOTA 4- Estos valores representan, respectivamente, los d1s (o el % dls) y límites d2s (o el % d2s) descritos en Practica C 670.

12.1.3 *Error.*— Este método de ensayo no tiene error porque los valores determinados están definidos sólo en términos del ensayo experimental.

13.0 PALABRAS CLAVES

13.1 Asfalto, betumen, penetración.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO PARA LA PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS

(AASHTO: T 49-03, ASTM: D 5-97)

Solicitante	Universidad de El Salvador
Proyecto	Trabajo de Graduación
Procedencia	Planta Multipav,
Ubicación	Guazapa
Material	Asfalto 60-70
Laboratorista	
Fecha de ensayo	

Condiciones de Ensayo	**Valores de ensayo**	
Temperatura (^{o}C)	25	25
Tiempo (segundos)	5	5
Carga de penetración (g)	100	100
Valores de Penetración (dmm)	muestra 1	muestra 2
Penetración 1 (dmm)	62	66
Penetración 2 (dmm)	66	63
Penetración 3 (dmm)	62	65
Penetración promedio (dmm)	63	65
Promedio (dmm)	**64**	

Observaciones:

Ensayo No. 16.

PUNTO DE FLAMA Y LLAMA POR LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND.

Basado en norma AASHTO: T 48 – 04
Con equivalencia en ASTM: D 92 - 02b y norma IP: 36/84 (89)

INTRODUCCIÓN

Este método de ensayo de punto de flama y llama es un método dinámico y depende de tasas definitivas de incrementos de temperatura para controlar la precisión del método de ensayo. Su uso principal es para materiales viscosos que tienen un punto de flama de 79 ° C (175 ° F) y mayor. Se usa también para determinar punto de llama, la cual es una temperatura que está por encima del punto de flama, en el cual el espécimen ensayado presentará combustión por unos 5 segundos como mínimo. No confunda este método de ensayo con el Método de Ensayo D 4206, el cual es un ensayo de calor sostenido tipo copa abierta, a una temperatura específica de 49 ° C (120 ° F).

Los valores de punto de flama están en función del diseño del aparato, la condición del aparato usado y el procedimiento operacional ejecutado. El punto de flama por consiguiente sólo puede estar definido en términos de un método de ensayo estándar y ninguna correlación válida general puede ser garantizada entre resultados obtenidos por métodos de ensayos diferentes, o con aparato de ensayo diferente al especificado.

1. OBJETIVOS.

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Reconocer el equipo que se utiliza.
- Describir el procedimiento para realizar el ensayo.
- Diferenciar entre punto de flama y punto de llama.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo describe la determinación del Punto de Flama y Punto de Llama de productos de petróleo por un aparato manual La Copa Abierta de Cleveland ó un aparato automatizado La Copa Abierta de Cleveland.

NOTA 1— La precisión para punto de llama no fue determinado en el programa actual de ínter laboratorio. El punto de llama es un parámetro que no es comúnmente especificado, aunque en algunos casos, el conocimiento de esta temperatura de inflamabilidad puede ser deseada.

2.2 Este método de ensayo es aplicable a todos los productos de petróleo con puntos de flama por encima de 79 °C (175 °F) y abajo de 400°C (752 °F) excepto aceites combustibles.

NOTA 2 — Este método de ensayo puede ser ocasionalmente especificado para la determinación del punto de llama de un aceite combustible. Para la determinación de los puntos de flama de aceites combustibles, use el Método de Ensayo ASTM D 93. El Método de Ensayo D 93 también puede ser usado cuando se desea determinar la presencia de concentraciones pequeñas, pero significantes, de sustancias inferiores de punto de flama que pueden escapar a la detección por el Método de Ensayo ASTM D 92. El Método de Ensayo ASTM D 1310 puede ser empleado si se sabe que el punto de flama está por debajo de 79 °C (175 ° F).

2.3 Los valores presentados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores dados en paréntesis son sólo para información.

2.4 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso. Para las declaraciones específicas de peligro, vea 7.4, 8.1, 12.1.3 y 12.2.4.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

T 73 Método de Ensayo para el Punto de flama por Copa Cerrada de Pensky – Martens.

T 40 Práctica para Muestrear Materiales Bituminosos.

T 79 Método de Ensayo para Punto de flama y Punto de Llama de Líquidos por Aparato Copa Abierta Tag.

3.2 Normas ASTM:

D 4057 Práctica para Muestreo Manual de Petróleo y Productos de Petróleo.

D 4177 Práctica para Muestreo Automático de Petróleo y Productos de Petróleo.

D 4206 Método de Ensayo para Calor Sostenido de Mezcla de Líquidos por el Ensayo Setaflash (copa-abierta).

E 1 Especificación para Termómetros ASTM.

E 300 Práctica para Muestrear Químicos industriales.

3.3. Normas IP: (Instituto del Petróleo)

Especificaciones para Termómetros Estándares IP.

3.4. Normas ISO:

Guía 34 Calidad de Sistemas Directrices para la Producción de Materiales de Referencia.

Guía 35 Certificación de Materiales de Referencia General y Principios Estadísticos.

4. TERMINOLOGIA

4.1 Definiciones:

4.1.1 *Dinámica, Adj.*— en productos de petróleo, es la condición donde el vapor por arriba del espécimen ensayado no está en equilibrio de temperatura al momento en que la fuente de ignición es aplicada.

4.1.1.1 *Discusión.*— Esto es causado principalmente por el calentamiento del espécimen ensayado a una tasa constante prescrita de una temperatura de vapor que se mantiene por debajo de la temperatura de ensayo del espécimen.

4.1.2, *Punto de Llama, n*— en productos de petróleo, la temperatura mínima corregida a una presión barométrica de 101.3 KPa (760 mm Hg) a la cual, al aplicarle una fuente de ignición causa que los vapores de un espécimen ensayado de muestra se encienda y sustente la combustión por un mínimo de 5 s bajo condiciones específicas de ensayo.

4.1.3 *Punto de Flama, n*— en productos de petróleo, la temperatura mínima corregida a una presión barométrica de 101.3 KPa (760 mm Hg) a la cuál, al aplicarle una fuente de

ignición causa que los vapores del espécimen de muestra de ensayo se enciendan en forma de destello bajo condiciones específicas de ensayo.

4.1.3.1 *Discusión.*— Se considera que el especimen de ensayo tiene destello intermitentemente cuando una flama aparece e instantáneamente se propaga sobre la superficie entera del especimen ensayado.

4.1.3.2 *Discusión.*— Cuando la fuente de ignición es una flama, la aplicación de la flama de ensayo puede causar un halo azul o una flama alargada antes del punto de flama real. Éste no es un punto de flama y será ignorado.

5. RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO.

5.1 Una muestra de material asfáltico de aproximadamente 70 ml es colocado en la Copa de Ensayo. La temperatura del especimen de ensayo es incrementada rápidamente al inicio y luego a una tasa constante más lenta a medida que se acerca al punto de flama. En intervalos especificados, una pequeña flama de ensayo es pasada sobre el borde superior de la copa. El punto de flama es la temperatura mínima del líquido a la cual la aplicación de la llama de ensayo causa que los vapores del espécimen de muestra ensayado presente destellos. Para determinar el punto de llama, el ensayo es continuado hasta lograr una temperatura a la cual la aplicación de la llama de ensayo cause que el especimen ensayado se encienda y conserve la llama por un mínimo de 5 s.

6. SIGNIFICADO Y USO.

6.1 El Punto de Flama es una medida de la tendencia del espécimen ensayado a formar una mezcla inflamable con aire bajo condiciones controladas de laboratorio. Es solamente una de un número de propiedades que deben ser consideradas al evaluar el peligro global de materiales inflamables.

6.2 El Punto de Flama es usado para definir regulaciones de seguridad y transporte de materiales inflamables y combustibles. Consulte las regulaciones particulares involucradas para definiciones precisas de estas clasificaciones.

6.3 El punto flama puede indicar la posible presencia de materiales altamente inflamables y volátiles en un material relativamente no volátil o poco inflamable. Por ejemplo un punto de flama anormalmente bajo en un especimen de ensayo de aceite de motor puede indicar contaminación de gasolina.

6.4 Este método de ensayo será usado para medir y describir las propiedades de materiales, productos o mezclas reactivos al calor y a una llama de ensayo bajo condiciones controladas en laboratorio y no se usarán para describir o evaluar el peligro de fuego ó el riesgo de incendios de materiales, productos, o mezclas bajo las condiciones reales de fuego. Sin embargo, los resultados de este método de ensayo pueden usarse como elementos de una valoración de riesgo de incendios que tiene en cuenta todos los factores que son del caso para una valoración del peligro de fuego de un uso particular final.

6.5 El Punto de Llama es una medida de la tendencia del espécimen de ensayo para soportar la combustión.

7. EQUIPO

7.1 *Equipo Copa Abierta de Cleveland (manual*).— Este equipo consta de la copa de ensayo, plato calentador, fuente de calor y aplicador de la llama de ensayo y los soportes descritos se detalle en el 16.0 Apéndice, 16.A.1. El equipo manual armado, plato calentador y la copa son ilustradas en la **Fotografía E 16.1., E 16.2. y E 16.3.** respectivamente.

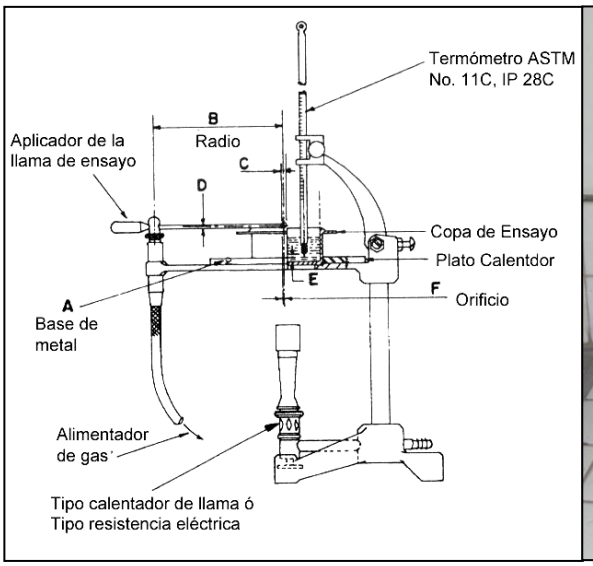
7.2 *Equipo Copa Abierta de Cleveland (automatizado*).— Este equipo es un instrumento automatizado de punto de flama que realiza el ensayo conforme al procedimiento de la Sección 11. El equipo usa la copa de ensayo con las dimensiones descritas en el 16.0 Apendice y la aplicación de la llama de ensayo será como se describe en el 16.0 Apendice, 16.A.1.

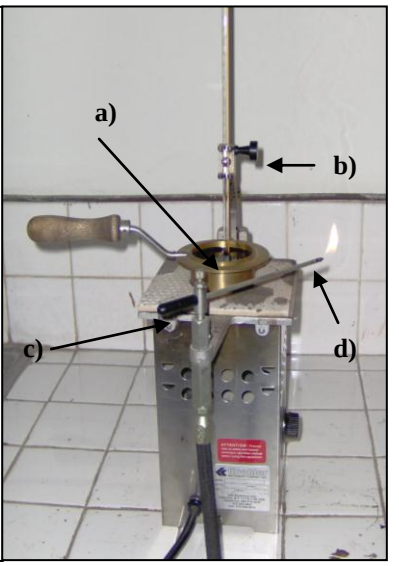
7.3 *Dispositivo para medir Temperatura*.— Un termómetro que tenga un rango como se muestra a continuación y conforme a los requisitos prescritos en la Especificación E 1 o

en las especificaciones para Termómetros Estándar IP, o un dispositivo electrónico para medir temperatura, como un termómetro de resistencia o termo-couplee. El dispositivo deberá presentar la misma respuesta de temperatura como los termómetros de mercurio.

Tabla E 16.1. **Numero de termómetros.**

Rango de temperatura	Número de Termómetro		
	ASTM		IP
- 6 a + 400 ˚C	11C		28C
2 a 760 ˚F		11F	



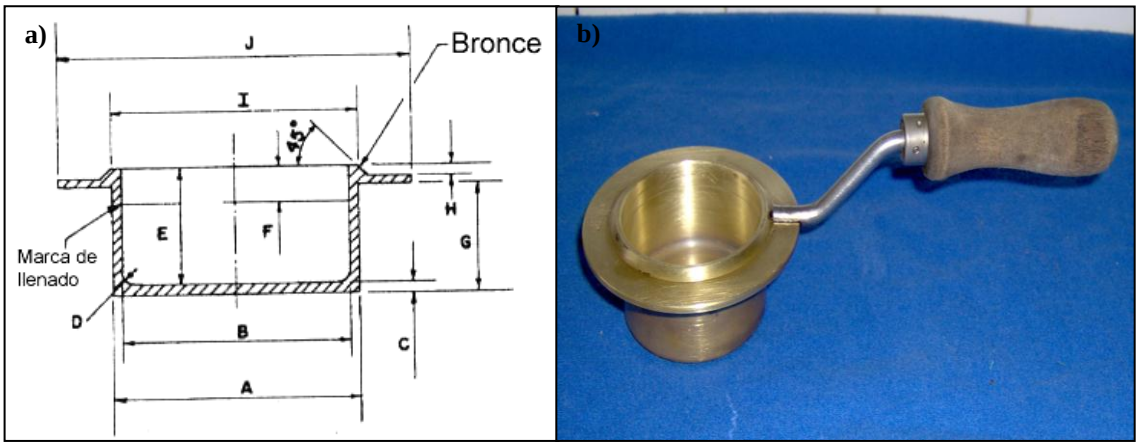


Dimensiones del aparato

	milímetros		pulgadas	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
(*) A - Diámetro	3.8	5.4	0.15	0.21
B - Radio	152	nominal	6	nominal
(*) C – Diámetro	1.6	5.0	0.06	0.20
(*) D	5.0		0.20	
(*) E	64 aproximadamente		0.25 aproximadamente	
F - Diámetro	0.8	nominal	0.031	nominal

Fotografía E 16.1 **Equipo Copa Abierta de Cleveland (manual)**
a) Copa de Ensayo b) Soporte para termómetro
c) Plato calentador d) Aplicador de la flama de ensayo

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Dimensiones de la Copa de Cleveland

	milímetros		pulgadas	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
A	67.5	69	2.658	2.717
(*) B	62.5	64	2.46	2.520
(*) C	2.8	3.6	0.110	0.140
(*) D – Radio	4 aproximadamente		0.16 aproximadamente	
E	32.5	34	1.280	1.339
F	9	10	0.354	0.394
(*) H	2.8	3.6	0.110	0.140
I	67	70	2.638	2.756
(*) J	97	101	3.8	4.000
(*) K	1.8	3.4	0.07	0.130

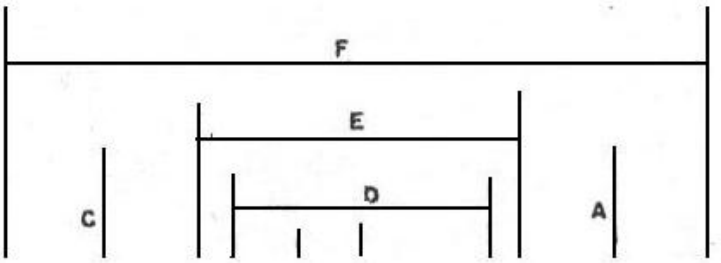
Fotografía E 16.2. **Copa Abierta Cleveand. a) Dimensiones. b) Copa**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

7.4 *Llama de Ensayo.—* Llama de gas natural (metano) y de gas embasado (butano o propano) ha sido encontrada aceptable para el uso como fuente de ignición. El dispositivo de llama de gas es descrito en el 16.0 Apéndice de este ensayo.

(Advertencia – La presión del gas que abastece al aplicador de la llama de ensayo no debe exceder 3 KPa (12 pulg) de presión de agua.

NOTA 3 — Una protección en forma de cuadro, con dimensiones aproximadas de 460 mm (18 pulg) por lado y 610 mm (24 pulg) de alto, u otra dimensión adecuada, y que tenga la parte delantera abierta es recomendada, para prevenir corrientes dispersoras en los vapores sobre la copa de ensayo.

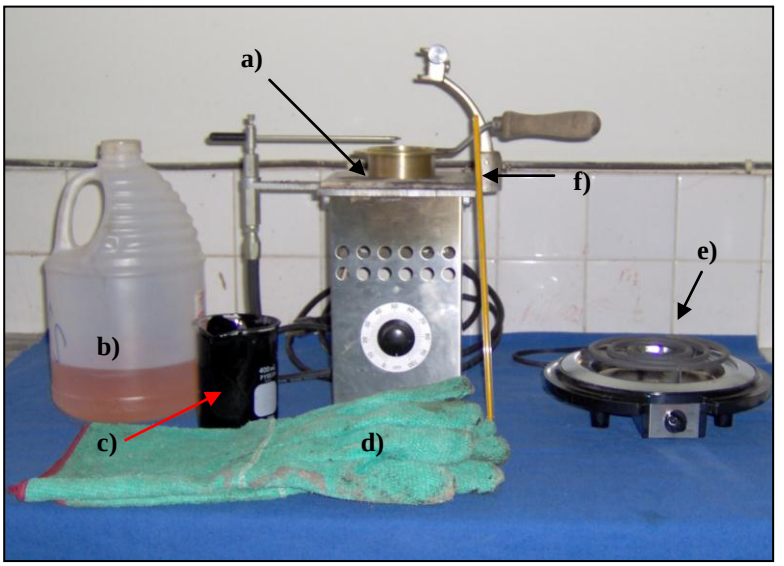


Dimensiones de Plato Calentador

	milímetros		pulgadas	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
(*) A	6.4 nominal		0.25 nominal	
B	0.5	1.0	0.20	0.039
(*) C	6.4 nominal		0.25 nominal	
(*) D – Diámetro	54.5	56.5	2.15	2.22
E – Diámetro	69.5	70.5	2.736	2.776
(*) F - Diámetro	150 nominal		6.0 nominal	

Figura E 16.1. **Plato Calentador (Metálico con aislante térmico)**

Equipo completo se muestra en la **Fotografía E 16.3.**



Fotografía E 16.3. **Equipo para punto de flama y llama.**
a) Equipo copa abierta de cleveland b) Solvente para limpieza (Gasolina) c) Muestra de asfalto d) Guantes de asbesto c) cocina eléctrica f) Termómetro

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

8. REACTIVOS Y MATERIALES.

8.1 *Solventes de limpieza*.— Use un solvente adecuado de grado técnico capaz de limpiar completamente el especimen ensayado de la copa de ensayo y secar la copa. Comúnmente se usan solventes como tolueno y acetona. (Advertencia - el Tolueno, la acetona y muchos solventes son inflamables. Peligrosos para la salud. Deshágase de los solventes y materiales de desecho de acuerdo con las regulaciones locales).

9. MUESTREO

9.1 Obtenga una muestra de conforme con las instrucciones dadas en los Ensayos AASHTO T 40, ASTM D 4057, ASTM D 4177 ó ASTM E 300.

9.2 Al menos 70 ml de muestra son requeridos para cada ensayo. Refiérase a la Práctica ASTM D 4057.

9.3 Puntos de flama pueden ser obtenidos erróneamente si no se toman las precauciones para evitar la pérdida de material volátil. No abra los envases innecesariamente esto previene pérdida de material volátil e introducción posible de humedad. No haga una transferencia de la muestra a menos que la temperatura de la muestra sea por lo menos 56 ° C (100 ˚F) abajo del punto de flama esperado. Cuándo sea posible el punto de flama, debe ser el primer ensayo realizado en una muestra, la muestra deberá ser almacenada a temperatura baja.

NOTA 4 — La temperatura típica para almacenamiento de muestra es la temperatura ambiente del cuarto o menor.

9.4 No almacenar muestras en contenedores en los cuales el gas se pueda escapar ya que el material volátil puede difundirse a través de las paredes de contenedor. Las muestras en envases dañados son sospechosas y no una fuente válida de resultados.

9.5 Hidrocarburos ligeros pueden estar presentes en forma de gases, algo semejante como propano o butano, y pueden no ser detectados en la toma de muestra y llenado de la copa ni durante el desarrollo del ensayo. Esto es especialmente evidente en residuos pesados o asfaltos de procesos de extracción de solventes.

9.6 Muestras de materiales muy viscosos pueden ser calentadas hasta que sean razonablemente fluidas antes de ser ensayadas. Sin embargo, ninguna muestra deberá calentarse más de lo necesario. Nunca caliente la muestra arriba de una temperatura de 56 ˚C (100 ˚F) bajo su punto de flama esperado. Cuando la muestra haya sido calentada por encima de esta temperatura, permita que la muestra se enfríe hasta por lo menos 56 ° C (100 ˚F) bajo su punto de flama esperado.

NOTA 5 — Típicamente, los contenedores para este tipo de muestra permanecen cerrados durante el proceso de calentamiento.

9.7 Las muestras que contienen agua disuelta o libre pueden ser deshidratadas con cloruro de calcio o por filtración cualitativa a través de un papel de filtro o por medio de un tapón flojo de algodón seco absorbente. Las muestras de materiales muy viscosos deben ser calentadas hasta que sean razonablemente fluidas antes de ser filtradas, pero no serán calentadas por períodos prolongados o arriba de una temperatura de 56 ° C (100 ° F) bajo su punto de flama esperado.

NOTA 6 — Si se sospecha que la muestra contiene contaminantes volátiles, el tratamiento descrito en 9.6 y 9.7 deberán ser omitidos.

10. PREPARACION DEL EQUIPO

10.1 Mantenga el equipo manual ó automatizado en una superficie estable y nivelada, como una mesa. Tal como se muestra en la **Fotografía E 16.1.**

10.2 Los ensayos deben ser realizados en un cuarto libre de corrientes de aire o un cubículo. Los ensayos hechos bajo un techo de laboratorio o en cualquier lugar donde corrientes de aire fluyen no pueden considerarse confiables.

NOTA 7 — Una protección en forma de cuadro, con dimensiones aproximadas de 460 mm (18 pulg) por lado y 610 mm (24 pulg) de alto, u otra dimensión adecuada, y que tenga la parte delantera abierta es recomendada, para prevenir corrientes dispersoras en los vapores sobre la copa de ensayo.

NOTA 8 — Con algunas muestras cuyos vapores o cuyos productos de pirolisis son inaceptables, es permitido colocar el equipo junto con el escudo, dentro de una protección, la cual está sujeta a una corriente para que los vapores puedan ser retirados sin corrientes causadas por el aire sobre la copa de ensayo durante el incremento final de temperatura 56 °C (100 °F) antes del punto de flama.

10.3 Lave la copa de ensayo con el solvente limpiador para remover algún residuo, material adherido ó remanente de un ensayo anterior. Si cualquier residuo de carbón está adherido, entonces deberán ser removidos con un material con un grado muy fino de estopa metálica. Asegúrese que la copa de ensayo está completamente limpia y seca antes de volver a usarla. Si es necesario, limpie la copa de ensayo con agua fría y séquela por algunos minutos sobre una flama abierta o un calientaplatos para remover las últimas huellas de solvente y agua. Enfríe la copa de ensayo antes de usarla por lo menos 56 °C (100 °F) bajo de su punto de flama esperado.

10.4 Colocar el dispositivo de medir temperatura en una posición vertical con el bulbo del termómetro localizado a 6.4 ± 0.1 mm (1/4 ± 1/50 pulg) por arriba del fondo interior de la copa de ensayo y localizado en un punto medio entre el centro y el lado de la copa de ensayo en un diámetro perpendicular a el arco del barrido por la llama de ensayo y en el lado opuesto de la posición del montaje del aplicador de la llama de ensayo.

NOTA 9 — La línea de inmersión grabada en el termómetro ASTM ó IP será 2 ± 0.1 mm (5/64 ± 1/50 pulg) bajo del nivel del aro de la copa cuando el termómetro este correctamente colocado.

NOTA 10 — Algunos equipos automatizados son capaces de posicionar el dispositivo automático medidor de temperatura. Refiérase a las instrucciones del fabricante para la instalación correcta y el ajuste.

10.5 Prepare el equipo manual o el equipo automatizado para la operación de acuerdo con las instrucciones del fabricante para calibrarlo, inspeccionarlo y manejo del equipo.

11. CALIBRACIÓN Y ESTÁNDARIZACIÓN

11.1 Ajuste el sistema detección automático del punto de flama, cuando sea usado, de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

11.2 Calibre el dispositivo medidor de temperatura de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

11.3 Verifique el desempeño del equipo manual o el equipo automatizado al menos una vez al año determinando el punto de flama de un Material de Referencia Certificado (CRM), como los listados en la Sección 18., los cuales están próximos al rango de temperatura esperado de las muestras a ser ensayadas. El material será ensayado según

el procedimiento de este método de ensayo y el observado punto de flama obtenido en 12.1.10 ó 12.2.5 se corregirá para la presión barométrica (vea el 16.0 Apendice). El punto de flama obtenido estará dentro de los límites dados en la **Tabla E 16.2** para la identificación del CRM o dentro de los límites calculados para un CRM que esta fuera de lista (vea en el 16.0 Apendice).

11.4 Una vez que el desempeño del equipo ha sido verificado, el punto de flama de normas secundarias de trabajo (SWSs) puede ser determinado solo con su límite controlado. Entonces materiales secundarios pueden ser utilizados frecuentemente para inspección del desempeño (vea en el 16.0 Apendice).

NOTA 11 — El fluido de verificación es un material predeterminado con un ensayo interlaboratorio. La temperatura del punto de flama es usada para verificar la apropiada operación del equipo. La calibración es realizada por el operador de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes del equipo si los resultados de verificación están fuera de la reproducibilidad declarada.

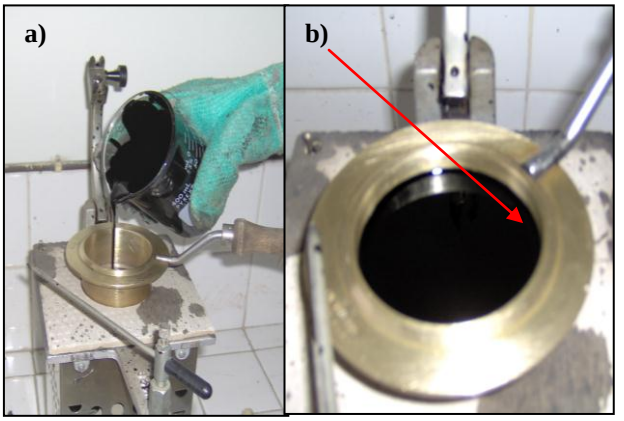
11.5 Cuando el punto de flama obtenido no está dentro de los límites dados en 11.3 o 11.4, compruebe la condición y operación del equipo para asegurar de conformidad con los detalles listados en el 16.0 Apendice, especialmente con atención a la posición del dispositivo medidor de temperatura, la aplicación de la llama de ensayo, y la tasa de calentamiento. Después del ajuste del equipo, repita el ensayo con un especimen de ensayo fresco (ver sección 11.3) con especial atención a los procedimientos detallados y descritos en la Sección 12.

12. PROCEDIMIENTO

12.1 *Equipo Manual*:

12.1.1 Llene la copa de ensayo con la muestra hasta que la parte superior del menisco del especimen a ensayar esté exactamente en la marca de llenado, (ver **Fotografía E 16.4.(a)**, y coloque la copa de ensayo en el centro del calentador. (*) Para ayudar en esta operación puede ser usado un Indicador de Nivel de Llenado (Ver 16.0 Apéndice, 16.A.1.7). La temperatura de la copa con la muestra no deberá exceder los 56 °C (100 °F) bajo del punto de flama esperado. Si se ha agregado demasiada muestra para

ensayar en la copa, entonces remueva el exceso usando una jeringa o un dispositivo similar para retirar el fluido excedente. Sin embargo, hay material de ensayo fuera de la copa de ensayo, entonces vacíela, límpiela y rellénela. Destruya cualquier burbuja de aire o espuma en la superficie de la muestra de ensayo con un cuchillo filoso u otro dispositivo adecuado y mantenga el nivel requerido de la muestra a ensayar. Si la espuma persiste durante las etapas finales del ensayo, entonces termine la prueba y haga caso omiso (ignore) de cualquier resultado.



Fotografía E 16.4.

Llenado de la copa
a) Inicio del llenado de la copa con asfalto y
b) Llenado de la copa asta la marca indicada.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

12.1.2 No se agregará material sólido a la copa de ensayo. Las muestras sólidas o viscosas serán calentadas hasta lograr que sean fluidas antes de ser vertidas en la copa de ensayo; sin embargo, la temperatura de la muestra durante el calentamiento no excederá los 56 ° C (100 ° F) bajo su punto de flama esperado. (ver **Fotografía E 16.5.**).

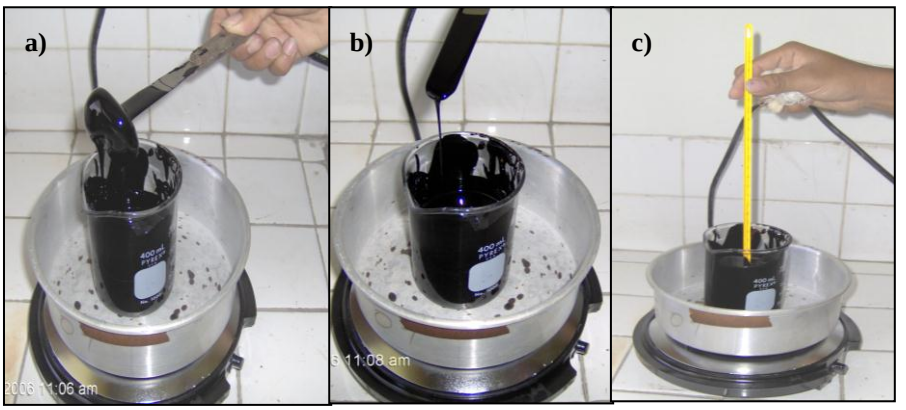
12.1.3 (*) Encienda la llama del ensayo de flama, y ajústela a un diámetro de 3.8 a 5.4 mm (0.15 a 0.21 pulg.) ó a el tamaño de la varilla de comparación, si ésta es montada en el equipo (ver 16.0 Apencice).

(**Advertencia** –La presión del gas que abastece al aplicador de la llama de ensayo no deberá exceder los 3 kPa (12 pulg) de presión de agua.).

(**Advertencia**—Manipule con cuidado cuando use una llama de ensayo de gas. Si se apagara, entonces, no la encienda sobre los vapores en la copa de ensayo, ya que el gas de la llama de ensayo introduce vapor sobre la copa y esto puede influenciar el resultado.).

(**Advertencia –** El operador tendrá mucho cuidado y tomará medidas de seguridad durante la aplicación inicial de la llama de ensayo puesto que especimenes de ensayo que contienen material de destello bajo, pueden presentar anormalmente un destello fuerte cuando la llama de ensayo es aplicada por primera ves.).

(**Advertencia —** El operador tendrá cuidado y tomará medidas de seguridad durante el desarrollo de este método de ensayo, ya que las temperaturas alcanzadas durante este ensayo son de hasta 400 ° C (752 ° F), y son consideradas peligrosas).



Fotografía E 16.5.

Proceso de preparación de asfalto para colocarlo en la copa. a) asfalto no homogéneo, b) asfalto completamente fluido y homogéneo y c) medición de la temperatura de asfalto, la cual deberá estar 56 ˚C por debajo del punto de flama esperado

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

12.1.4 Aplique calor inicialmente a una tasa de incrementos de temperatura indicado por el dispositivo medidor de temperatura (termómetro) de tal manera que la muestra experimente incrementos de 14 a 17 °C /min (25 a 30 ° F)/min. Cuando la temperatura de ensayo de la muestra esté aproximadamente 56 °C (100 ° F) bajo del punto de flama esperado, disminuya el calor de tal forma que los incrementos de temperatura durante

los últimos 28 °C antes de llegar al punto de flama esperado sean de 5 a 6 °C/min (9 a 11 ° F) /min.

12.1.5 Inicie la aplicación la llama de ensayo cuando la temperatura de la muestra de ensayo esté aproximadamente 28 °C bajo del punto de flama esperado y repita cada vez que la temperatura leída sea un múltiplo de 2 ° C. Pase la llama de ensayo a través del centro de la copa de ensayo perpendicularmente a su diámetro, la cual pasa a través del dispositivo medidor de temperatura. Con un movimiento suave y continuo, aplique la llama de ensayo en una línea recta cualquiera o a lo largo de una circunferencia que tenga un radio de al menos 150 ± 1 mm (6.00 ± 0.039 pulg.). (*) El centro de la llama de ensayo debe moverse en un plano horizontal a no más de 2.5 mm (0.10 pulg) arriba del plano del borde superior de la copa y se debe pasar en una sola dirección. Al momento de la siguiente aplicación de la llama de ensayo, pase la llama de ensayo en sentido inverso de la aplicación anterior (precedente). El tiempo de recorrido al pasar la llama de ensayo a través de la copa de ensayo en cada caso será aproximadamente de 1 ± 0.1 s.

NOTA 12 — Cuando determine el punto de flama del asfalto, es recomendado retirar cuidadosa y completamente hacia un lado con una espátula, cualquier película formada en la superficie antes de cada aplicación de la fuente de ignición. Los datos disponibles señalan que un punto de flama más alto es obtenido en muestras de asfalto cuando la película formada en la superficie no es movida a un lado, comparada para el punto de flama obtenido cuando la película formada en la superficie es removida a un lado antes de la aplicación de la fuente de ignición.

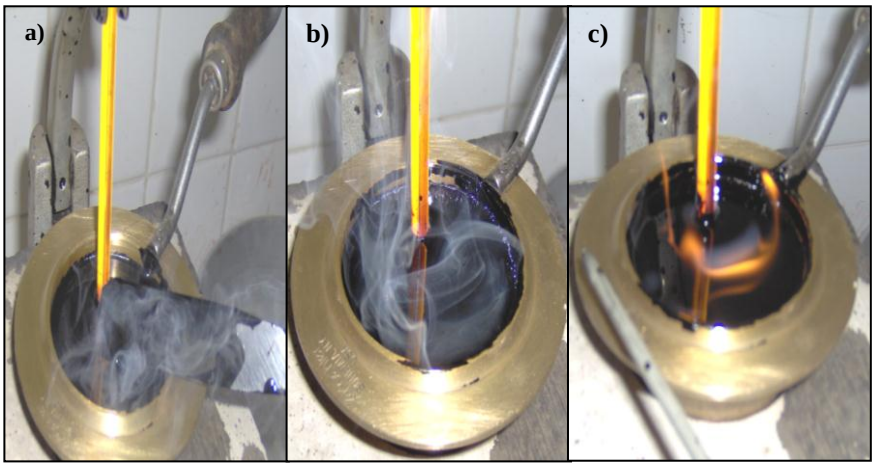
NOTA 13 — Una alternativa para remover la película formada en la superficie puede ser encontrada en el Apéndice 16.X.1.

12.1.6 Durante los últimos 28 ° C (50 ° F) el incremento en la temperatura antes del punto de flama esperado, se debe tener cuidado para evitar perturbar los vapores (ver **Fotografía E 16.7.**) en la copa de ensayo con movimientos rápidos o aspiración cerca de la copa de ensayo.

12.1.7 Cuando una espuma persista encima del espécimen ensayado durante los últimos 28 ° C (50 ° F) antes del punto de flama esperado, de por terminado el ensayo y haga caso omiso de cualquier resultado.

12.1.8 Manténgase atento a todos los detalles referentes a la llama de ensayo, tamaño de la llama de ensayo, tasa de incremento de temperatura, y el tiempo en que se pasa la

llama de ensayo sobre la muestra ensayada, todo esto es requerido para obtener resultados correctos.



Fotografía E 16.7.

Vapores y Punto de Llama en el Asfalto
a) Remoción de la película superficial del asfalto,
b) Vapores de asfalto antes del punto de flama y
c) Llama en la superficie del asfalto

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 14 — Los resultados de Punto de Flama, determinados en un material con un punto de flama desconocido, de un modo deberá ser considerado aproximado. Este valor puede ser utilizado como el punto de flama esperado cuando una muestra nueva sea ensayada en la forma normal de ensayo.

12.1.10 Registre, como punto de flama observado, la lectura en el dispositivo medidor de temperatura (termómetro) en el momento que la llama de ensayo causa distintos destellos en los vapores sobre la copa de ensayo.

12.1.10.1 Se considera que la muestra tiene destellos intermitentes cuando una flama grande aparece e instantáneamente se propaga a sí mismo sobre la superficie entera de la muestra ensayada.

12.1.11 La aplicación de la llama de ensayo puede causar un halo azul o una flama extendida antes del punto de flama real. Éste no es un punto de flama y será ignorado.

12.1.12 Cuando un punto de flama es detectado en la primera aplicación de la llama de ensayo, el ensayo será descontinuado, el resultado descartado, y el ensayo se repetirá con una muestra nueva para ensayo. La primera aplicación de la llama de ensayo con la

muestra nueva de ensayo será por lo menos 28 °C (50 °F) bajo la temperatura encontrada cuando el punto de flama fue detectado en la primera aplicación de la llama de ensayo.

12.1.13 Cuando el equipo se ha enfriado a una temperatura segura de manejo, menos de 60 °C (140 °F), remueva la copa de ensayo del equipo como recomienda el fabricante.

NOTA 15 — Tenga cuidado al limpiar el equipo con el objetivo de no dañar o dislocar el sistema automatizado de detección de destello, cuando sea usado el dispositivo medidor de temperatura. Vea las instrucciones del fabricante para el cuidado y mantenimiento correcto.

12.1.14 Para determinar el Punto de Llama (ver **Fotografía E 16.7.**), continué calentando el espécimen de ensayo después de registrar el punto de flama de forma similar aumente la temperatura de ensayo de la muestra en una tasa de 5 a 6 °C /min (9 a 11 °F)/min. Continúe la aplicación de la llama de ensayo en intervalos de 2 °C (5 °F) hasta que la muestra ensayada comience a arder y mantenga la llama por un mínimo de 5 s. Registre la temperatura de la muestra ensayada cuando la llama de ensayo, causó que la muestra comenzara a arder (tener fuego). Mantenga el ardor observado como el punto de llama de la muestra ensayada.

12.1.15 Cuando el equipo se ha enfriado a una temperatura segura de manejo, menos de 60 °C (140 °F), remueva la copa de ensayo del equipo como recomienda el fabricante.

12.2 *Equipo Automatizado*:

12.2.1 El equipo automatizado será capaz de realizar el procedimiento como se describe en 12.1, incluyendo el control de la tasa de calentamiento, aplicación de la llama de ensayo, detección del punto de flama, punto de llama ó ambos, y registrar el punto de flama, punto de llama ó ambos.

12.2.2 Llene la copa de ensayo con la muestra a fin de que la parte superior del menisco del especimen a ensayar esté exactamente en la marca de llenado, y colocar la copa de ensayo en el centro del calentador. La temperatura de la copa de ensayo y la muestra no excederá los 56 °C (100 °F) bajo del punto de flama esperado. Si se ha agregado demasiada muestra de ensayo a la copa, entonces remueva el exceso usando una jeringa

o un dispositivo similar para el retiro del fluido; sin embargo, si hay material de ensayo fuera de la copa de ensayo, entonces vacíela, límpiela y rellénela. Destruya cualquier burbuja de aire o espuma encima de la muestra a ensayar con un cuchillo filoso u otro dispositivo adecuado, y mantenga el nivel requerido de la muestra a ensayar. Si persiste espuma durante las etapas finales del ensayo, entonces termine el ensayo, y haga caso omiso de cualquier resultado.

12.2.3 No se agregara material sólido a la copa de ensayo. Las muestras sólidas ó viscosas serán calentadas hasta ser fluidas antes de ser vertidas en la copa de ensayo; sin embargo, la temperatura de la muestra durante el calentamiento no excederá los 56 6 °C (100 6 °F) bajo del esperado punto de flama.

12 .2. 4 Cuando sea necesario ajuste el diámetro de la llama de ensayo de 3.8 a 5.4 mm (1/8 a 3/16 pulg.) ó el tamaño de la varilla de comparación, si es montado en el equipo. (**Advertencia** –La presión del gas suministrado al equipo no debe exceder los 3 KPa (12 pulg.) de presión de agua.). (**Advertencia**—Manipule con cuidado cuando use una llama de ensayo de gas. Si se apagara, entonces, no la encienda sobre los vapores en la copa de ensayo, ya que el gas de la llama de ensayo introduce vapor sobre la copa y esto puede influenciar el resultado.). (**Advertencia –** El operador tendrá mucho cuidado y tomará medidas de seguridad durante la aplicación inicial de la llama de ensayo puesto que especimenes de ensayo que contienen material de destello bajo, pueden presentar anormalmente un destello fuerte cuando la llama de ensayo es aplicada por primera ves.). (**Advertencia —** El operador tendrá cuidado y tomará medidas de seguridad durante el desarrollo de este método de ensayo, ya que las temperaturas alcanzadas durante este ensayo son de hasta 400 ° C (752 ° F), y son consideradas peligrosas).

NOTA 16 — Algunos aparatos automatizados pueden encender automáticamente la lama de ensayo y el tamaño de la llama de ensayo es predeterminado.

12.2.5 Encienda el equipo automatizado según las instrucciones del fabricante. El equipo seguirá los procedimientos descritos en 12.1.4 a través de 12.1.15.

13. CALCULOS

13.1 Observe y registre la presión barométrica ambiental (ver **NOTA 17**) en el momento del ensayo. Cuando la presión difiera de 101.3 kPa (760 mm Hg), corrija el Punto de Flama, Punto de Llama, ó ambos, como sigue:

Punto de flama corregido = C + 025 (101.3 - K) (1)

Punto de flama corregido = F + 0.06 (760 - P) (2)

Punto de flama corregido = C + 0.033 (760 - p) (3)

Donde:
C = Punto de flama observado, ° C,
F = Punto de flama observado, ° F,
P = Presión barométrica ambiental, mm Hg y
K = Presión barométrica ambiental, kPa.

NOTA 17 — La presión barométrica usada en este cálculo es la presión ambiental en el laboratorio al momento del ensayo. Muchos barómetros de aneroide, como los usados en estaciones climatológicas y aeropuertos, son precorregidos para dar lecturas a nivel del mar y no daría la lectura correcta para este ensayo.

13.2 Use el punto de flama corregido, punto de llama o ambos, como se determina en 13.1, redondee los valores con aproximación a 1 °C (2 °F) y regístrelo.

14. REPORTE

14.1 Reporte los valores corregidos de punto de flama, punto de llama ó ambos; como el Método de Ensayo AASHTO T 48 "Punto de Flama, Punto de Llama por Copa Abierta Cleveland" de la muestra ensayada.

15. PRECISION Y ERROR

15.1 *Precisión.*— La precisión de este método de ensayo es determinada por el estudio estadístico de los resultados en ensayos interlaboratorio es como sigue:

15.1.1 *Repetibilidad.*— La diferencia entre resultados sucesivos, obtenido por el mismo operador con el mismo equipo bajo las mismas condiciones operativas en idénticos materiales ensayados, durante un largo tiempo en la operación normal y correcta del método de ensayo, excederá los siguientes valores en un caso de 20.

Punto de Flama	8 ° C (15 ° F)
Punto de llama	8 ° C (15 ° F)

15.1.2 *Reproducibilidad.*— La diferencia entre dos resultado independientes y únicos, obtenido por diferentes operadores trabajando en diferentes laboratorios y en material idéntico, durante un largo tiempo en operación normal y correcta del método de ensayo, excederá los siguientes valores sólo en un caso de 20.

Punto de flama	18 ° C (32 ° F)
Punto de llama	14 ° C (25 ° F)

15.2 La precisión de los datos para punto de llama no se conoce su desarrollo de conformidad con la Precisión Manual RR:D02-1007.

NOTA 18 — Las precisiones para punto de llama no fueron determinadas en el programa actual del ínterlaboratorio. El punto de llama es un parámetro que no es comúnmente especificado, aunque en algunos casos, esta temperatura puede ser solicitada.

NOTA 19 — La precisión para muestras de tipo asfáltico que ha tenido cualquier película formada en la superficie removida no ha sido determinada.

NOTA 20 — La precisión para las muestras de tipo asfáltico que ha utilizado el procedimiento en la Sección 17 no ha sido determinada.

15.3 *Error*.— El procedimiento de este método de ensayo no tiene la tendencia porque el punto de flama y punto de llama pueden ser definidos sólo en términos de este método de ensayo.

15.4 *Error relativo.*— Evaluaciones Estadísticas de los datos no detectó cualquier diferencia significante entre las varianzas de reproducibilidad de los resultados de puntos de flama Cleveland manuales o automatizados para las muestras estudiadas con la excepción de multiviscosidad de aceites lubricantes y aceite mineral blanco. La evaluación de los datos no detectó cualquier diferencia significante entre los promedios de punto de flama Cleveland manual y automatizado para las muestras estudiadas con la excepción de aceite de multiviscosidad lubricante, que muestre

alguna tendencia. En algún caso de disputa, el punto de flama determinado por el procedimiento manual será considerado el ensayo de referencia.

15.5 Los datos de precisión para el punto de flama fueron desarrollados en 1991 en siete muestras usando un programa cooperativo de ensayo de base de aceite, asfalto, y aceites lubricantes. Cinco laboratorios participaron con el aparato manual y ocho laboratorios participaron con el equipo automatizado. La información en el tipo de muestras y su promedio de punto de flama están en el reporte de investigación disponible en ASTM Headquarters.

16. PALABRAS CLAVES

16.1 Copa abierta Cleveland automatizada; Copa abierta Cleveland; punto de llama; copa abierta para punto de llama; flamabilidad; punto de flama; productos de petróleo.

16.0 APENDICES

16.A.1 EQUIPO COPA ABIERTA CLEVELAND

16.A.1.1 *Copa de Ensayo,* conforme a dimensiones como se muestra en la **Fotografia E 16.2**. La copa será elaborada de latón u otro metal inoxidable con una conductividad de calor equivalente. La copa puede estar equipada con una agarradera.

16.A.1.2 *Plato de calentamiento.—* de latón, hierro fundido, hierro forjado, o un plato acerado con un orificio en el centro rodeado por un área plana con depresión, y una hoja de material aislante comprimido (asbesto) que cubre el plato de metal excepto sobre el área plana con depresión en la cual la copa de ensayo es colocada. Las dimensiones esenciales del plato calentador son mostradas en la **Figura E 16.2**; Sin embargo, puede ser cuadrado alrededor, y el plato de metal puede tener extensiones adecuadas para montar el dispositivo aplicador de la llama de ensayo y el soporte del termómetro. También, una varilla de metal, como se menciona en 16.A.1.3, puede ser montada en el plato a fin de que se extienda a través y ligeramente por encima de un orificio pequeño adecuado en el plato.

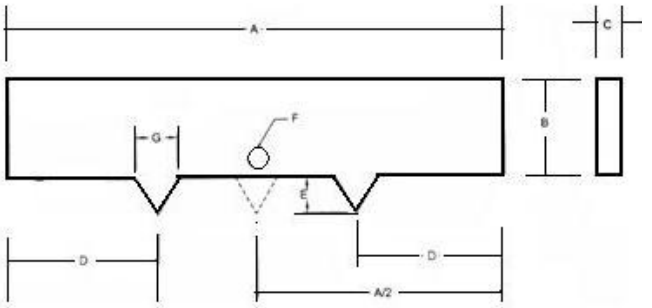
16.A.1.3 *Fuente aplicador de ignició.*— El dispositivo para aplicar la llama de ensayo puede ser de cualquier tipo adecuado. Al usar una llama de ensayo, se sugiere que la punta sea 1.6 ± 0.015 mm (1/16 pulg.) de diámetro al final, y que el orificio sea aproximadamente 0.8 ± 0.05 mm (1/32 pulg.) de diámetro. El dispositivo para maniobrar el aplicador de la llama de ensayo puede estar montado de tal forma que pueda permitir duplicación automática del barrido de la llama de ensayo, el radio de barrido no será menor de 150 mm (6 pulg). El centro de la llama de ensayo deberá ser respaldado a fin de que se mueva en un plano no mayor de 2.5 mm por encima del plano del borde de la copa. Es deseado que tenga una varilla de diámetro de 3.2 a 4.8 mm (1/8 a 3/16 pulg.), sea montado en una posición conveniente en el aparato a fin de que el tamaño de la llama de ensayo pueda ser comparado con el.

16.A.1.4 *Fuente de Calor*.— El calor puede ser suministrado de cualquier fuente conveniente. El uso de un quemador de gas o una lámpara de alcohol está permitido, bajo ninguna circunstancia serán permitidos productos de combustión o de llama libre que rodee la copa. Un calentador eléctrico que pueda controlarse automáticamente o que pueda ser controlado por el usuario es recomendado. La fuente de calor estará centrada debajo de la abertura del plato calentador sin recalentamiento local.
Los calentadores del tipo de llama pueden estar protegidos de calado o radiación excesiva por cualquier tipo adecuado de protección que no se proyecte por encima del nivel de la superficie superior del plato calentador.

16.A.1.5 *Soporte del dispositivo medidor de temperatura*.— Puede ser usado cualquier dispositivo conveniente que mantenga el dispositivo medidor de temperatura (termómetro) en la posición especificada durante el ensayo y que permita extracción fácil del termómetro de la copa de ensayo cuando termine el ensayo.

16.A.1.6 *Soporte del plato calentador*.— Cualquier soporte conveniente que mantenga el nivel del plato calentador estable puede ser empleado.

16.A.1.7 (*)*Indicador de Nivel.*— Un dispositivo para ayudar en el ajuste correcto del nivel de la muestra en la copa. Puede ser elaborado de metal adecuado con al menos una marca, pero preferiblemente dos para ajustar el nivel de la muestra en la copa de ensayo de 9 a 10 mm (0.35 a 0.39 pulg.) bajo del borde de la copa. Un orificio en el centro con diámetro de 0.8 mm (0.031 pulg.), el cual estará ubicado en el centro a no mas de 2.5 mm. (0.10 pulg.) por encima del borde inferior del indicador, será provisto para usarse y chequear la posición central del orificio del aplicador de la llama de ensayo con respeto al aro de la copa.



Dimensiones del Indicador de Nivel de llenado

	mm	Pulg.	
A	100	4	Nominal
B	20	3/4	Nominal
C	3.2	1/8	Nominal
D	30	1 ¼	Nominal
E	9 – 10	0.35 – 0.39	Nominal
F	0.8 Dia.(2.5 mm arriba de la superficie inferior).	1/32 Diámetro	Nominal
G	10	3/8	Nominal

Figura E 16.2 **Indicador de Nivel de Llenado.**

16.A.2 VERIFICACIÓN DE RENDIMIENTO DEL EQUIPO

16.A.2.1 *Material de Referencia Certificado* (CRM) — es un hidrocarburo puro (99 + mol % pureza) y estable u otro producto de petróleo estable con un método

específico para establecer su punto de llama por un método específico de estudio interlaboratorio RR: D02-1007 siguiendo los lineamientos ISO Guía 34 y 35.

16.A.2.1.1 Valores típicos del punto de flama corregido por la presión barométrica para algunos materiales de referencia y sus límites típicos son dados en la **Tabla E 16.4** (vea la **NOTA** A.2.2). Los proveedores de CRM's proveerán certificados proporcionando el método específico para punto de flama para cada material para cada producción continua. El cálculo de los límites para otro CRM's puede ser determinado de los valores reproducidos por este método de ensayo, reducido por efecto del interlaboratorio y multiplicado por 0.7 (vea el reporte de investigación RR: S15 - 1008).

NOTA 16.A 2.1 Datos respaldados por el estudio interlaboratorio para generar el punto de flama en Tabla A 3.1 puede ser encontrados en el reporte de investigación RR:S15-1010.

NOTA 16.A.2.2 Pureza de Materiales, valores de punto de flama, y límites declarados en la Tabla E 16.4 fueron desarrollados en un programa ASTM interlahoratorio para determinar el uso apropiado para verificación de fluidos por el método de ensayo del punto de flama. Otros materiales, purezas, valores de punto de flama, y otros límites pueden hallarse en disposición cuando se producen según las prácticas de RR:D02-1007 o ISO Guías 34 y 35. El desempeño de tales materiales certificados deberá ser consultado antes de uso, como el valor de punto de flama variará dependiendo de la composición de cada lote de CRM.

16.A.2.2 *Normas de trabajo Secundarias* (SWS) — SWS es un hidrocarburo puro estable (99 + mol % pureza), u otro producto de petróleo cuya composición es conocida para permanecer apreciablemente estable.

16.A.2.2.1 Establezca el punto de flama medio y el control de límites estadísticos (3 σ) l para los SWS usando técnicas estadísticas normadas.

Tabla E 16.4. **D 92 Valores Típicos de Punto de Flama y Límites Típicos para CRM**

Hidrocarburo	Pureza (%moles)	Punto de Flama (°C)	Límites (°C)
n-tetradecano	99 +	115.5	± 8.0
n-hexadecano	99+	138.8	±8.0

16.X.1 TÉCNICA PARA PREVENIR FORMACIÓN DE ESPUMA EN LA SUPERFICIE DURANTE EL ENSAYO DE PUNTO DE FLAMA DE ASFALTOS POR EL MÉTODO DE ENSAYO ASTM D 92

16.X.1.1 **Introducción**

16.X.1.1.1 Esta técnica para prevenir formación de espuma en la superficie del asfalto durante el ensayo punto de flama por el Método De Ensayo ASTM D 92 fue desarrollada por Imran Hussami de la Compañía Frontier El Dorado Refining.

16.X.1.2 **Materiales requeridos**

16.X.1.2.1 *Papel Filtro, cualitativo*, No. 417 (o equivalente) con un diámetro de 7.5 cm.

16.X.1.2.2 *Anillo de tensión restringida.*— de alambre metálico, circular, con 15 mm doblados en ángulo recto hacia adentro, igual para cada uno, paralelo a cada uno (vea **Figura E 16.3**). Las dimensiones: del alambre aproximadamente son de 2 mm en el grosor, 62 a 63 diámetro exterior con finos doblados 15 mm aparte a lo largo de la circunferencial. Largo total de alambre de 210 mm. Un metal ordinario ó material similar puede usarse para hacer el anillo de tensión.

16.X.1.2.3 *Perforador de un solo orificio* — (o equivalente) capaz hacer un orificio de 6 mm de diámetro en medio del papel de filtro.

16.X.1.3 Procedimiento

16.X.1.3.1 Determine el centro del papel filtro por medio de una regla. Usando el perforador, perfore un hueco de 6 mm de diámetro en medio del papel filtro con diámetro de 7.5 cm cualitativo.

16.X.1.3.2 Doble hacia arriba los lados del papel de filtro, cerca de 6 mm en todas direcciones y colóquelo en la base de la copa abierta Cleveland de ensayo de punto de flama con el doblez de 6 mm hacia arriba (vea la **Figura E 16.3**).

16.X.1.3.3 Coloque el anillo de tensión restringida ajustadamente sobre la porción doblada del papel filtro en la base de la copa. (El anillo de tensión previene que el papel filtro ascienda durante el ensayo)

16.X.1.3.4 Llene la copa con la muestra de 4 a 5 mm por debajo de la marca de llenado (esto debe compensar la muestra que absorbe el papel filtro que se soltó durante el ensayo). (**Advertencia —** Llenar hasta la marca de llenado podría producir resultados prematuros de punto de flama.)

16.X.1.3.5 Inicie el ensayo usando cualquier equipo manual o una unidad automática (siguiendo las instrucciones del fabricante) y determine el punto de flama.

16.X.1.3.6 Reporte el punto de flama corregido por la presión barométrica con aproximación de1 ° C.

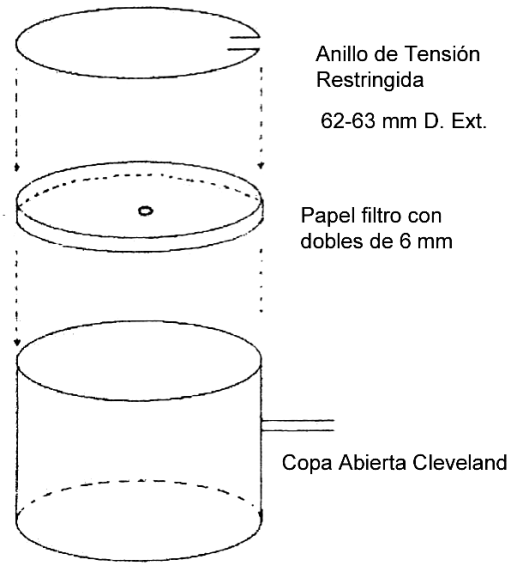


Figura E 16.3. **Técnica para prevenir formación de nata en la superficie cuando se ensaya en asfalto el punto de flama por el Método de Ensayo D 92**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE FLAMA Y PUNTO DE LLAMA (AASHTO T 48-04, ASTM D92-02b)

Solicitante: Universidad de El Salvador
Proyecto: Trabajo de Graduación
Procedencia: Planta Multipav,
Ubicación: Guazapa
Material: Asfalto 60-70
Laboratorista:
Fecha de ensayo:

DESCRIPCION	VALORES
Presión barométrica durante el ensayo (mmHg)	760
Punto de flama de la copa abierta de Cleveland del Método de Ensayo AASHTO T 48 (^{o}C)	312
Punto de Llama de la Copa Abierta de Cleveland del Método de Ensayo AASHTO T 48 (^{o}C)	336
Observaciones:	

Ensayo No. 17.

SOLUBILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS.

Basado en norma AASHTO: T 44-03
Con equivalencia en ASTM: D 2042-01

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Identificar el equipo que se utiliza para el ensayo
- Identificar el tipo de solvente que se utiliza.
- Describir en forma general el procedimiento de ensayo.

2. ALCANCE

2.1. Este método comprende la determinación del grado de solubilidad de materiales de asfalto en tricloroetileno ó 1,1,1 tricloroetano que tienen poco ó ninguna materia mineral. La porción que es soluble en tricloroetileno o 1.1.1 tricloroetano representa los constituyentes activos del cementante.

1.2. Los valores expresados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1. Normas AASHTO:

R 16. Información Reguladora para el Uso de Químicos en Ensayos AASHTO.

M 231 Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos.

4. RESUMEN DEL MÉTODO

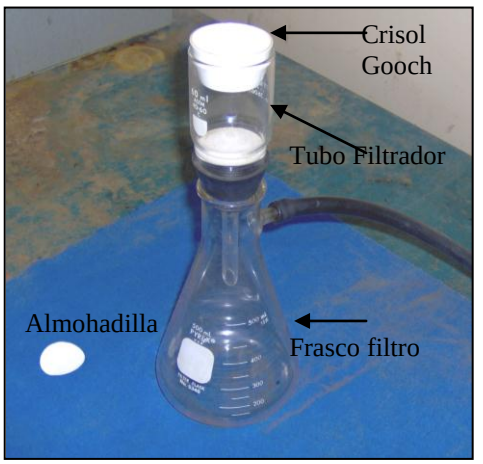
4.1. La muestra es disuelta en tricloroetileno o 1.1.1 tricloroetano y filtrada a través de un material filtrante (almohadilla). El material insoluble es lavado, secado y pesado.

5. EQUIPO Y MATERIALES

5.1. El equipo filtrador es ensamblado como se muestra en la **Fotografía E 17.1.**

Los detalles de las partes constituyentes son como sigue:

5.1.1. *Crisol Gooch.*— acristalado interna y externamente con excepción de la superficie del fondo. Las dimensiones aproximadas son en 44 mm de diámetro en la parte superior, en el fondo del ahusamiento de 36 mm, y una profundidad de 24-28 mm.



Fotografía E 17.1. **Equipo armado para filtrar**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

5.1.2. *Almohadilla de Fibra de vidrio.*— con un diámetro de 32, 35, o 37 mm.

5.1.3. *Frasco Filtro.*— De pared resistente, con tubo lateral, con capacidad de 250 ml ó más grande.

5.1.4. *Tubo Filtrador*.— Con un diámetro interno de 40 a 42 mm.

5.1.5. *Hule adaptador.*— Para mantener el crisol gooch en el tubo filtrador.

NOTA 1— Otro ensamble adecuado de equipo que permita filtración por vacío con un crisol gooch puede ser usado.

5.2. *Frasco Erlenmeyer.*—125 ml, u otro envase adecuado, ver **Fotografía E 17.2.(a).**

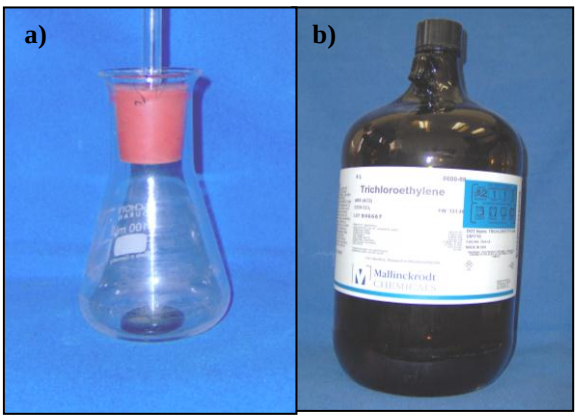
5.3. *Horno.*— Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F).

5.4. *Desecador*.— De tamaño adecuado, cargado con un desecante efectivo.

5.5. *Balanza analítica.*— Clase A de conformidad a los requisitos de la Especificación AASHTO M 231.

6. SOLVENTE

6.1. Tricloroetileno Tipo I de grado técnico, ó 1.1.1 tricloroetano de grado industrial.(ver **Fotografía E 17.1.(b).**



Fotografía E 17.2.

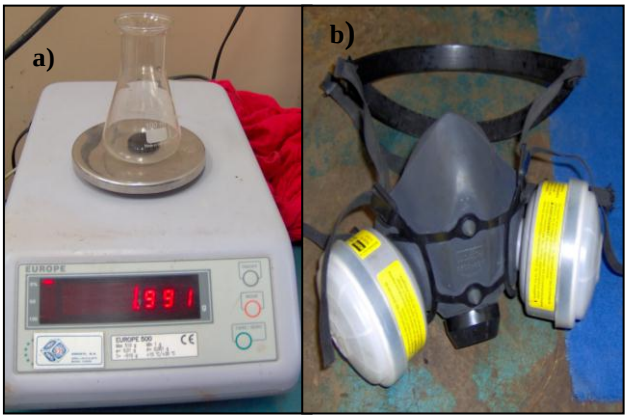
Frasco Erlenmeyer y Ticloroetileno.
a) Frasco erlenmeyer con muestra.
b) Envase de tricloroetileno.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

7. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

7.1 El tricloroetileno y 1.1.1 tricloroetano son materiales tóxicos y deben de seguirse estrictamente las instrucciones en las Hojas de Datos Seguridad de los Materiales. Precaución: El tricloroetileno y 1.1.1 tricloroetano pueden formar ácidos extremadamente corrosivos en presencia de calor y humedad.

Equipo para evitar inhalar vapores de tricloroetileno se muestra en la **Fotografía E 17.3.(b).**



Fotografía E 17.3.

Balanza y Equipo de Seguridad.
a) Balanza de 0.001 g de precisión,
b) Mascarilla para seguridad personal.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

8. PREPARACIÓN DE CRISOL GOOCH

8.1. Ensamble el equipo filtrador como se muestra en **Fotografía E 17.1.** Coloque una almohadilla (papel filtro) en el crisol gooch, humedezca la almohadilla con solvente y siente firmemente en el fondo del crisol con una succión ligera. Seque el crisol y contenidos a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) por lo menos **20 minutos**. Enfríe el crisol y contenidos en un evaporador por lo menos **20 minutos y determine la masa**. Repita este procedimiento hasta obtener masa constante (± 0.3 mg). Almacene en un desecador hasta que este listo para usarse.

9. PREPARACION DE LA MUESTRA

9.1. Si la muestra no es fluida, entonces caliente la muestra con cuidado para evitar recalentamiento local hasta que se haya fluidificado suficientemente, ocasionalmente remueva la muestra para ayudar a transferir el calor y asegurar uniformidad en el material diluido. Evite el entrampamiento de aire.

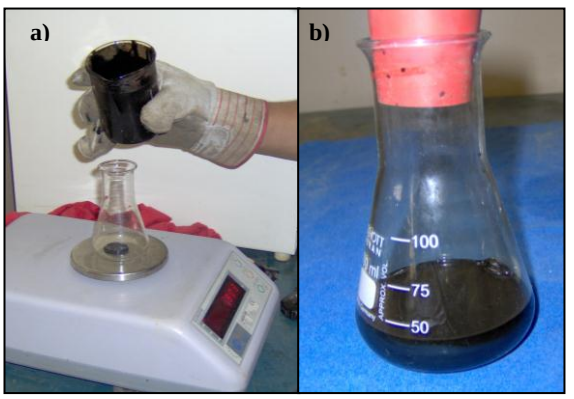
10. PROCEDIMIENTO

10.1. Tome en cuenta las medidas de seguridad de la Sección 7. Vierta aproximadamente **2 g** de muestra en el interior de un frasco erlenmeyer de 125 ml u otro envase adecuado, ver **Fotografía E 17.4.(a)**. Permita que el frasco y su contenido se enfríe a la temperatura ambiente y determine la masa con aproximación a 1 mg Agregue 100 ml de tricloroetileno (ver **Fotografía E 17.4.(b)** o 1.1.1 tricloroetano en el frasco, tape el frasco y agite según sea necesario hasta que la muestra se disuelva y que ningún material no disuelto se pegue al envase. Inspeccione después el material no disuelto en un período de al menos 15 minutos.

Normalmente la temperatura a la cual este ensayo se desarrolla no es crítica y puede ser realizada a la temperatura ambiente del laboratorio. Sin embargo para ensayos de referencia, el frasco y la muestra en la solución serán colocados en un baño de maría manteniéndose en 37.8 ± 0.25 ˚C (100 ± 0.5 ˚F), por una hora antes de filtrar.

10.2 Coloque el crisol gooch previamente preparado y tarado en el tubo filtrador.

Moje la almohadilla filtro con una porción pequeña de solvente limpio y decante la solución a través de la almohadilla filtro en el crisol con una succión ligera. Cuando la materia insoluble es apreciable, retenga tanto como sea posible en el envase hasta que la solución se haya drenado a través de la almohadilla filtro.



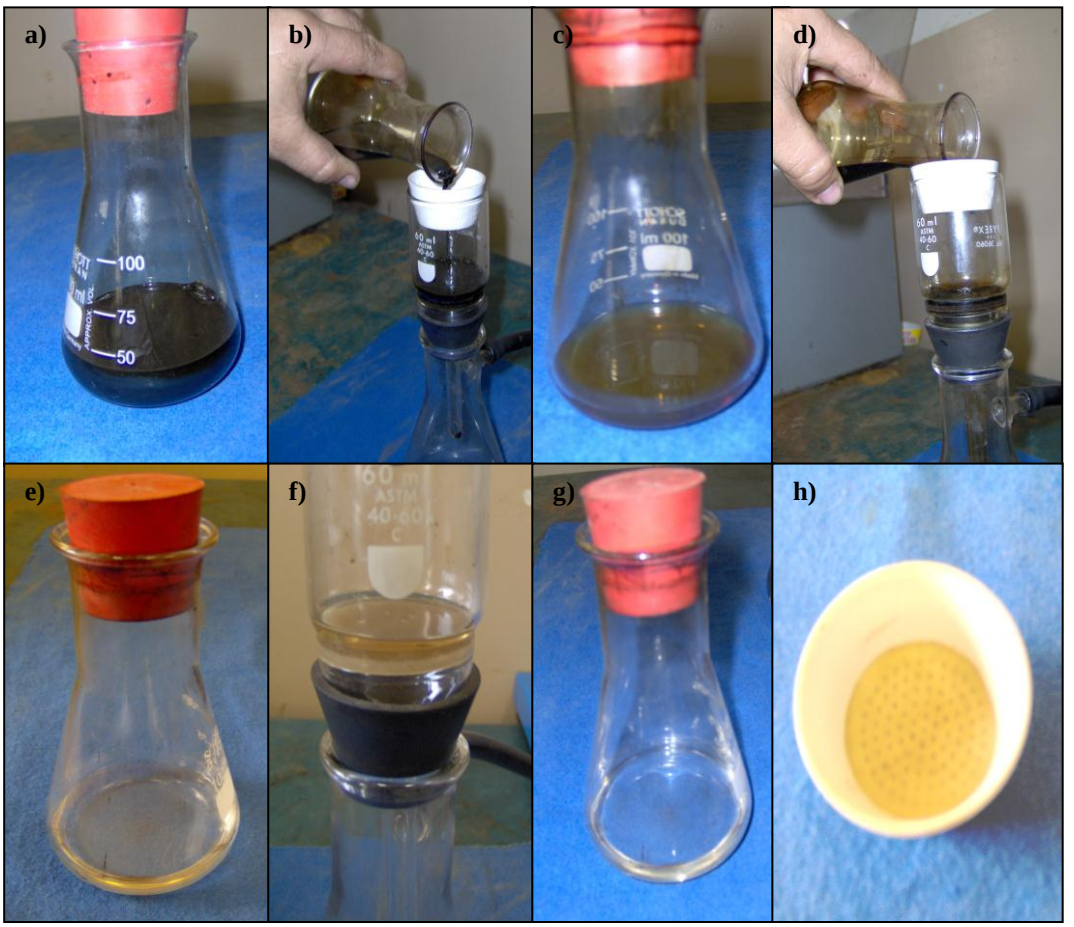
Fotografía E 17.4.

a) Colocación y medición de la muestra de asfalto
b) Tricloroetileno añadido a la muestra de asfalto.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

Usando un solvente limpio lave el frasco con un poco de solvente y transfiera todo el material insoluble al crisol.

Use un aditivo si es necesario remover cualquier material insoluble adherida al frasco, lave muy bien el material insoluble en el crisol con solvente hasta que lo filtrado es sustancialmente incoloro. Entonces ejerza succión fuerte para remover el solvente remanente.



Fotografía E 17.5.

Proceso de Solubilidad, a) primera adición de tricloroetileno, b) primera decantación en el filtro; c) segunda adición de tricloroetileno, d) segunda decantación en el filtro; e) tercera adición, f) tercera decantación; g) última adición la cual se observa transparente y luego se filtra; h) Crisol con filtro listo para ser secado en horno después de la última filtración de tricloroetileno.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

Remueva el crisol del tubo y lave el fondo hasta que quede libre de cualquier material disuelto. Seque el crisol y contenido a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) por lo menos 20 minutos. Enfríe el crisol y contenido (almohadilla) en un desecador por lo menos 20 minutos y determine la masa. Repita este procedimiento hasta obtener una masa constante (± 0.3 mg).

Las almohadillas de fibra de vidrio deberán ser usadas sólo una vez.

11. CÁLCULOS Y REPORTE

11.1. Calcule el porcentaje total de materia insoluble o el porcentaje de materia soluble en el solvente usado como sigue:

$$\text{Insoluble, } \% = \frac{C - A}{B} \times 100 \qquad (1)$$

$$\text{Soluble, } \% = \frac{B - (C - A)}{B} \times 100 \qquad (2)$$

Donde:

A = masa de crisol y filtro (almohadilla)

B = masa total de la muestra, y

C = masa de crisol, filtro y material insoluble.

11.1.1. Reporte el porcentaje de material insoluble con una aproximación de 0.1 %.

12. PRECISIÓN

12.1. Las estimaciones de desviaciones estándar para este procedimiento y los criterios para juzgar la aceptabilidad de resultados (95 % de nivel de confianza) son indicados en la **Tabla E 17.1**.

Tabla E 17.1. **Desviación Estándar.**

	Desviación estándar			
	Variabilidad Dentro del laboratorio [a]		Variabilidad entre Laboratorio [a]	
	Desviación Estándar [b]	Repetibilidad [c]	Desviación Estándar [b]	Reproductibilidad [d]
Solubilidad de Asfalto más de 99% (tricloroetileno o 1.1.1 ricloroetano)	0.035	0.10	0.090	0.26

Notas:

[a] Para definición de términos y recomendaciones use Indices de precisión, ver la Práctica Recomendada para uso de los Terminos de Precisión y Exactitud como Medida Aplicada de una Propiedad de un Material (ASTM E 177).

[b] - Las desviaciones estándar señaladas representan la desviación estándar estimada del proceso de medida para las condiciones declaradas. Se calculan multiplicando las desviaciones estándar de los datos aplicables por el factor.

$$1+\frac{1}{4(N-1)}$$

Dónde N es el número de ensayos en la serie (set) de datos.

[c] - Dos resultados obtenidos por un operador en la misma muestra deberán ser considerados dudosos si difieren por más de la cantidad declarada. Como se define en la práctica Recomendada E 177, ésta es la diferencia dos- sigma límites para la precisión de un solo-operador-laboratoio-maquina-día.

[d] – Dos resultados obtenidos por operadores en diferentes laboratorios serán considerados dudosos si la diferencia es por más que la cantidad declarada.

Tabla E 17.2. **Estimaciones de la Desviación Estándar.**

	Asfaltos
Materiales	4
Copias	3
Solventes	4
Laboratorios	26
Grados de libertad:	
Variabilidad dentro de laboratorio	159
Variabilidad entre laboratorios	81
Datos de desviación estándar (S)	
Variabilidad dentro de laboratorio	0.035
Variabilidad entre laboratorios	0.090

12.2. Materiales de Referencia de Laboratorios (AMRL) por AASHTO T 44 y ASTM D 2042 fueron analizados en 2001. Estos datos representan aproximadamente 13,200 repeticiones de la prueba conducida en 132 muestras teniendo valores de solubilidad

entre 99.5 % y 100.0%. Para las muestras dentro de este rango, el análisis sugiere que los siguientes valores de precisión son apropiados:

Desviación Estándar de multilaboratorio (1 S) = 0.01 + (0.75 H % Insoluble)
Desviación estándar un solo operador (1S) = 0.01 + (0.25 H % Insoluble).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE SOLUBILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

(AASHTO T 44-03, ASTM D 2042-01)

Solicitante: Universidad de El Salvador
Proyecto: Trabajo de Graduación
Procedencia: Planta Multipav,
Ubicación: Guazapa
Material: Asfalto 60-70
Laboratorista:
Fecha de ensayo:

DESCRIPCION	VALORES
Peso inicial de la muestra (g)	1.997
Peso crisol + filtro (g)	15.264
Peso crisol + filtro + material insoluble (g)	15.268
% insoluble	0.2
% soluble	99.8

Observaciones:

Ensayo No. 18.

DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSO.

Basado en norma AASHTO: T 51-00

Con equivalencia en ASTM: D 113-99

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Conocer el procedimiento del ensayo.
- Determinar la ductilidad del asfalto.
- Conocer el equipo necesario para el ensayo.

2. ALCANCE

2.1.La ductilidad de un material bituminoso es la medida de la distancia a la cual dos extremos de la briqueta de muestra se estiran, hasta que se rompe; de la forma descrita en la Sección 4, es halado separándolos a una velocidad y temperatura especificada. Salvo indicación contraria, el ensayo se realizara a una temperatura de 25 ± 0.5 °C y a una velocidad de 5 cm/min ± 5.0%. A otras temperaturas la velocidad deberá ser especificada.

2.2. Este estándar no propone encargarse de todos los problemas de seguridad asociados con su uso, si existe alguno. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

NOTA *– Un asterisco entre paréntesis(*) indica que en ese numeral se han realizado cambios en la norma* ASTM: D 113-99 según lo establece la norma AASHTO T 51-00

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1. Normas AASHTO:

T 49 Penetración para materiales bituminosos.

T 179 Efecto del Calor y el Aire en Materiales Asfálticos. (Ensayo de la Película Delgada en Horno)

T 240 Efecto del Calor y el Aire de una Película de Asfalto en Movimiento. (Ensayo de la Película Delgada en Horno Rotatorio)

M 92 Especificación para Tamices con Tejido Metálico para Propósitos de Ensayos.

3.2. Norma ASTM:

C 670, Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

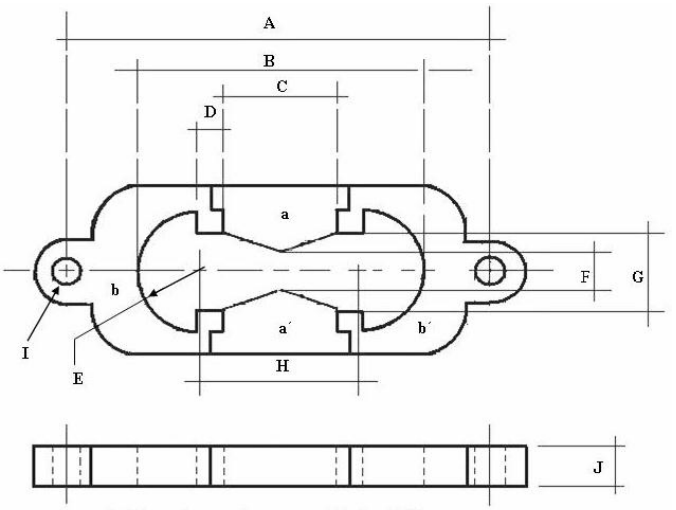
E 1 Especificación para Termómetros ASTM.

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1. Este método de ensayo provee una medida de las propiedades a tensión de los materiales bituminosos y es utilizado para medir la ductilidad, para requerimientos específicos.

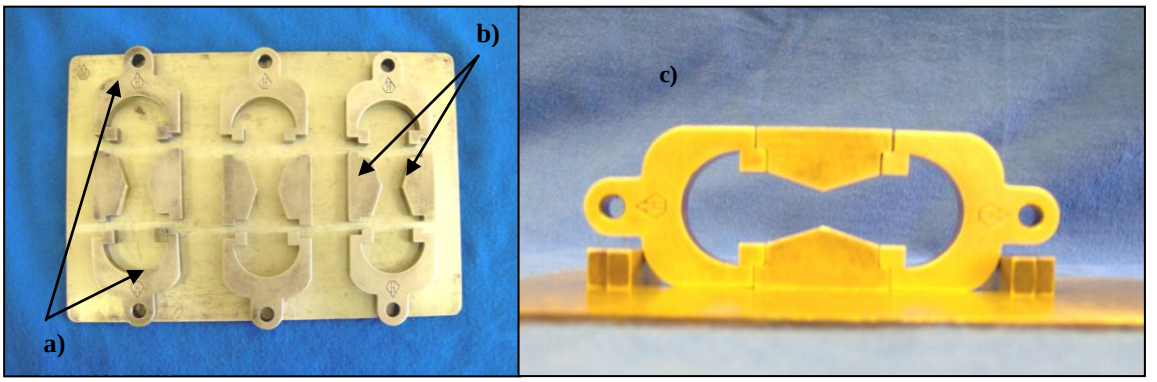
5. EQUIPO

5.1. *Molde.*— El molde será similar al diseño mostrado en la **Figura E 18.1**. El molde estará hecho de bronce, los extremos b y b' son conocidos como sujetadores de la briqueta; las partes a y a' como los lados del molde. Las dimensiones del molde ensamblado serán como se muestran en la **Figura E 18.1** con las variaciones permisibles indicadas. En la **Fotografía E 18.1.** podemos observar con mayor detalle las partes que componen el molde.



A- Distancia entre los centros, 111.5 a 113.5 mm.
B- Largo total de la briqueta, 74.5 a 75.5 mm.
C- Distancia entre los sujetadores, 29.7 a 30.3 mm.
D- Hombro, 6.8 a 7.2 mm.
E- Radio, 15.75 a 16.25 mm
F- Ancho mínimo de la sección en cruce, 9.9 a 10.1 mm.
G- Ancho dela boca del sujetador, 19.8 a 20.2 mm.
H- Distancia entre los rádios centrales, 42.9 a 43.1 mm.
I- Diámetro de los orificios, 6.5 a 6.7 mm.
J- Espesor, 9.9 a 10.1 mm.

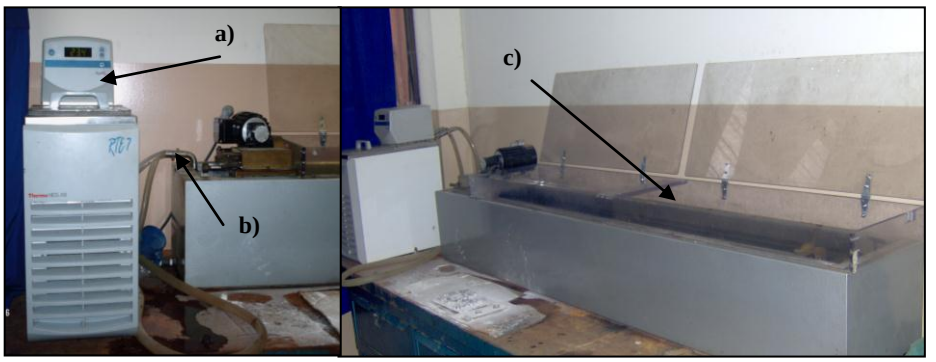
Figura E 18.1. **Molde para el ensayo de ductilidad.**



Fotografía E 18.1. **El molde: a) Sujetadores de la muestra "b" b) Lados del molde "a" c) Molde completamente armado**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

5.2. *Baño de María.*— El baño de maría será mantenido a la temperatura de ensayo especificada, variando no más de 0.18 ° F (0.1 °C) de esta temperatura. Ver **Fotografía E 18.2.** (*) El volumen de agua no será menor de 10 L. La profundidad del agua no será menor de 50 mm, tal que el molde puede encontrarse sumergido a una profundidad de 25 mm. El agua para el baño estará sustancialmente libre de aceite, limo y de materia orgánica.



Fotografía E 18.2. **El baño maría: a) Refrigerador °C b) Conexión de paso del agua a temperatura de ensayo c) Estante para baño maría**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

5.3. *Maquina de ensayo.*— Para halar la briqueta separando el material bituminoso, cualquier equipo puede ser utilizado, Ver **Fotografía E 18.3.** el cuál debe ser construido de manera tal que la briqueta este continuamente sumergida en agua como se especifica en la Sección 6.3, mientras los dos sujetadores de la briqueta son separados a una velocidad uniforme como se ha especificado, sin ninguna vibración.

Fotografía E 18.3. **Maquina para realizar el ensayo.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

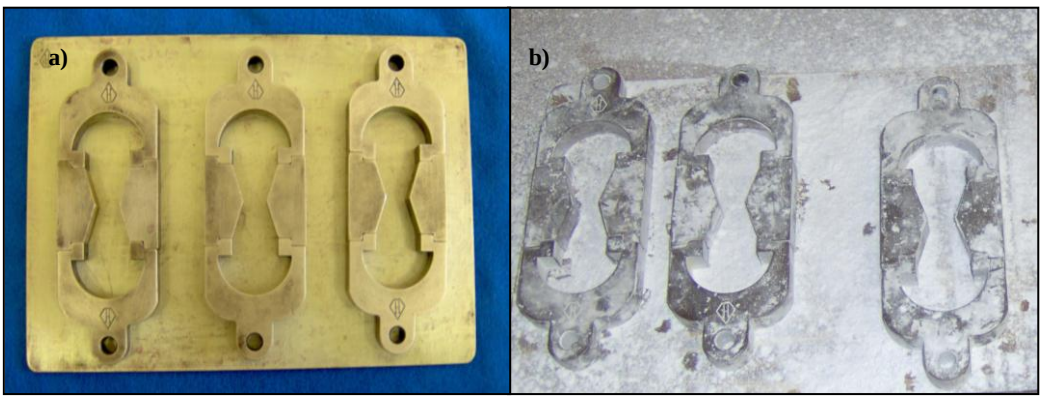
5.4. *Termómetro.*— Un termómetro que tenga un rango como se muestra a continuación y conforme a los requisitos prescritos en la especificación E 1 (**NOTA 1**). (*) El termómetro deberá ser calibrado por el Método de Verificación y Calibración de Termómetros de Vidrio con Líquidos (ASTM Designación E 77).

Rango de temperatura	Termómetro No. ASTM
-8 a 32°C	63C

NOTA 1. En los casos donde los especimenes de ductilidad se encuentran envejecidos en un baño estándar de penetración a 25°C, los termómetros descritos por el método de ensayo AASHTO T 49 pueden ser sustituidos por los anteriormente mencionados.

6. PROCEDIMIENTO

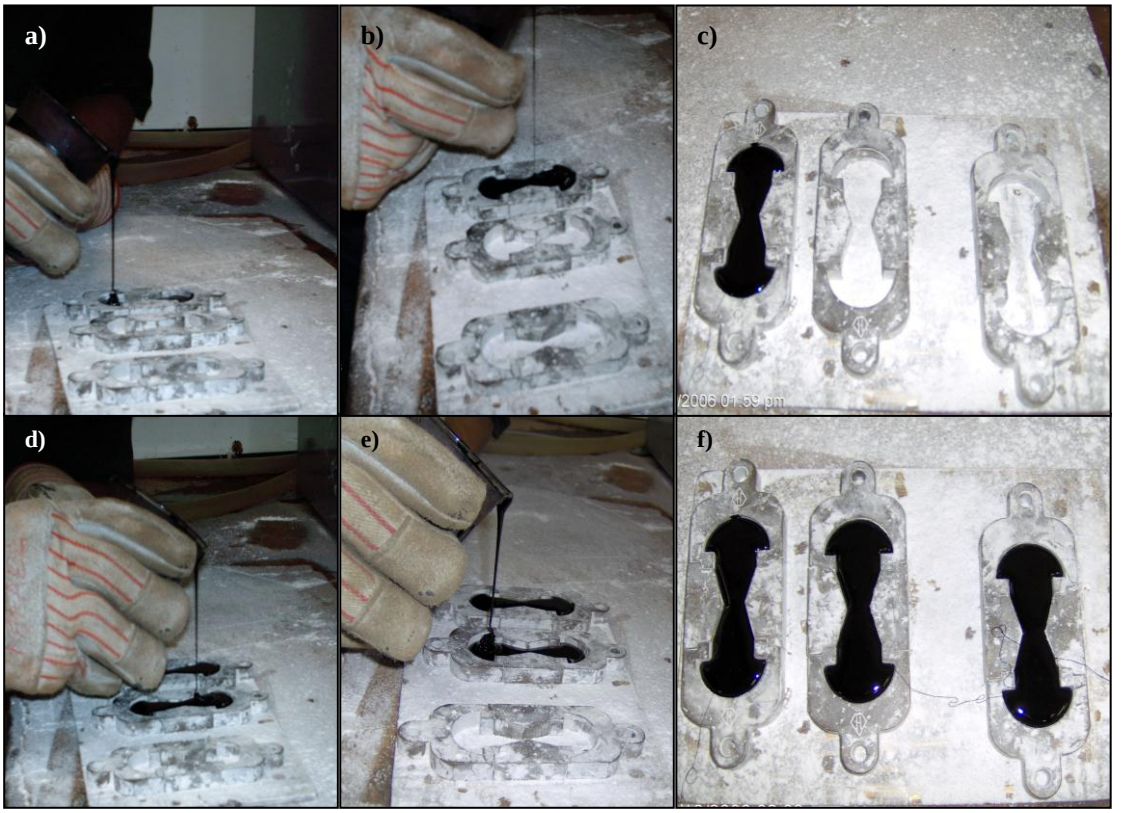
6.1. Ensamble el molde en la placa de bronce. Recubra completamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados *a y a'*, Figura E 18.1, Ver **Fotografía E 18.4.** ; recubra el molde con una capa delgada de una mezcla de glicerina y dextrina, talco, o el caolín (arcilla de porcelana china) para evitar que el material a ensayar se adhiera al molde. La placa en el cual el molde estará acomodado será perfectamente plana y nivelada con el fin de que la superficie inferior del molde este completamente en contacto.



Fotografía E 18.4. **a) Ensamble del molde. b) Recubrimiento del molde.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

Caliente cuidadosamente la muestra previniendo recalentamiento local hasta que se ha fluidificado suficientemente para verter. Después de un mezclado minucioso, viértalo en el molde. Al llenar el molde, tenga cuidado de no desajustar las partes y así deformar la briqueta. Al llenar, vierta el material en una corriente delgada de un lado a otro, de un extremo a otro hasta que el molde esté completamente lleno a su nivel. Ver **Fotografía E 18.5.** Deje el molde con el material enfriarse a una temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min. y luego métalo en el baño de maría manteniendo la temperatura especificada de ensayo, por 30 min.; entonces corte totalmente el excedente de asfalto con una espátula caliente para hacer que el molde quede completamente lleno y a nivel.



Fotografía E 18.5.

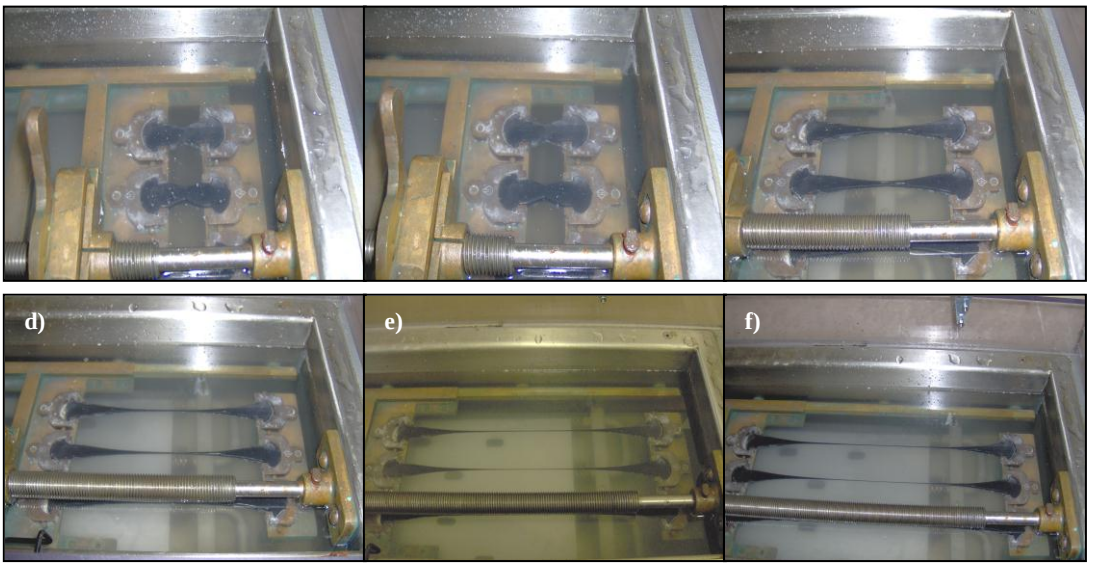
Proceso de llenado de las muestras: a) Al llenar, verter con una corriente delgada. b) De un extremo y un lado a otro. c) Hasta llenar el molde. d) Prosiga con la segunda muestra. e) De un extremo y al otro. f) Completando la tercera muestra.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

(*) NOTA 2. Mezclas de glicerina y dextrina o talco (3 g de glicerina por cada 5g dextrina o talco, han sido usada satisfactoriamente), Dow-Corning Silicone Stop Cock, o una mezcla de aceita de castor y Versamid 900 (en una mezcla de 100:1 por peso, calentado entre 204 a 232°C (400 a 450°F) y mezclar hasta que quede homogénea, a sido encontrada adecuada. Otros agentes antiadherentes pueden ser usados con tal que los resultados obtenidos sean comparables a los anteriormente citados.

6.2. *Conservando la briqueta de muestra a una temperatura estándar*.— Coloque la placa de bronce y el molde, con la briqueta de muestra, en el baño maría y consérvese a la temperatura especificada por un período de 85 a 95 min. Entonces remueva la briqueta de la placa, separe las piezas laterales, e inmediatamente ensaye la briqueta.

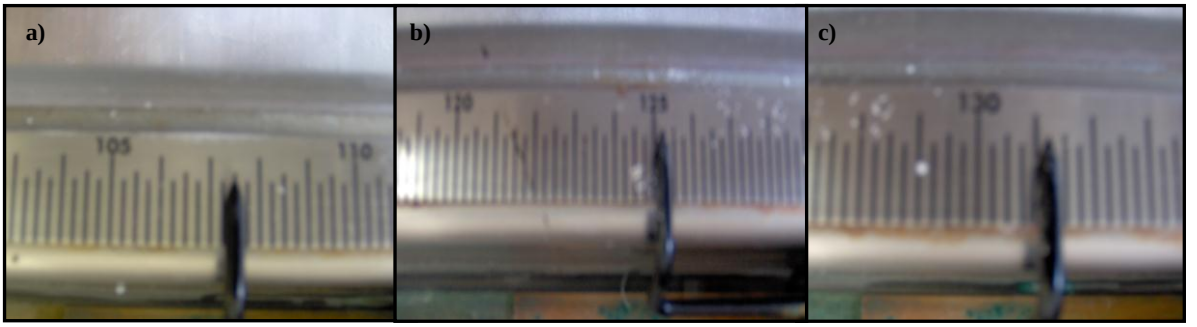
6.3. *Ensayo.*— Coloque los anillos de cada extremo de los sujetadores en los pasadores o los ganchos de la máquina de ensayo y separe los dos sujetadores a una velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta. Una variación de ± 5 % en la velocidad especificada será aceptable. Ver **Fotografía E 18.6.** Mida la distancia en centímetros entre los sujetadores que han sido halados para producir ruptura. Ver **Fotografía E 18.7.** Mientras el ensayo está siendo realizado, el agua en el tanque de la máquina cubrirá al espécimen en la parte inferior y superior por lo menos 2.5 cm y será mantenido continuamente a la temperatura especificada dentro de 0,5 °C.



Fotografía E 18.6.

Ensayo de las muestras a) Tensión inicial. b) A una velocidad uniforme. c) De un extremo a otro. c) Hasta formarse un hilo. d) Continuando la tensión. e) Hasta que el asfalto falle.

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.



Fotografía E 18.7. **Distintas mediciones, conforme la la muestra es ensayada. a) Primera 107.5mm b) Segunda 125.3 c) Tercera 131.3 mm**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

7. REPORTE

7.1.Un ensayo normal es aquel en la cual el material entre los dos sujetadores son halados hasta un punto donde el hilo formado, se rompe, y no tiene sección transversal. Reporte el promedio de tres ensayos normales como la ductilidad de la muestra.

7.2.Si el material bituminoso entra en contacta con la superficie del agua o el fondo del baño, entonces el ensayo deberá ser rechazado. Ajuste la gravedad específica del baño por la adición de alcohol metílico o cloruro de sodio (sal) con el fin de evitar que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua, ni al fondo del baño en cualquier momento durante el ensayo.

7.3.Si el ensayo normal no es obtenido en tres ensayos, entonces reporte ductilidad como inalcanzable bajo las condiciones de ensayo.

8. PRECISION

8.1.Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de ductilidad a 25 ° C obtenida por este método de ensayo son mostrados en **Grafica E 18.1**.

NOTA 3 –Los informes de precisión para la ductilidad, son presentados en la Grafica E 18.1 , basada en ensayos realizados en cementos asfálticos. La precisión para ensayo en residuos, como los obtenidos por el método de ensayo AASHTO T 179 y AASHTO T 240, no han sido establecidos.

NOTA 4-Los números graficados en el Grafico 1.0 representan los (1S) y (D2S) límites para la precisión individual del operador y la precisión multilaboratorio descrita en la práctica ASTM C 670.

NOTA 5-Los datos disponibles son insuficientes para definir apropiadamente la precisión a 15.6 ° C. Sin embargo, el análisis de resultados de datos de ensayo de 13 laboratorios en un asfalto para el cual el resultado promedio de ensayo de ductilidad fue 45 cms. en la figura muestra una precisión multilaboratorio (d2s) de 23 cm.

9. PALABRAS CLAVES

9.1. Ductilidad; molde de ductilidad; ductilimetro.

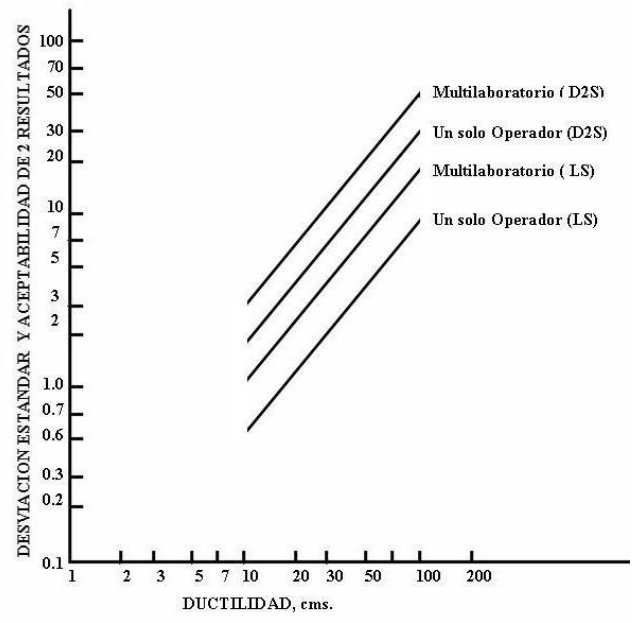


Grafico E 18.1. **Precisión de Datos.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

(AASHTO T 51-00, ASTM D 113-99)

Solicitante	Universidad de El Salvador
Proyecto	Trabajo de Graduación
Procedencia	RASA S.A. de C.V.
Ubicación	San Salvador
Material	Asfalto 60/70
Laboratorista	
Fecha de ensayo	

DESCRIPCION			
Velocidad de la Maquina de ensayo	**5 cm/mn ± 5.0**		
Temperatura de ensayo	**25 ° C**		
Velocidad del ensayo	**5 cm/min ± 5.0**		
	M-1	M-2	M-3
Ductilidad	**150 cms**	**150 cms**	**150 cms**
Promedio	**150 cms**		

Observaciones:

Ensayo No. 19.

VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (Betunes)

Basado en norma AASHTO: T 201-03
Con equivalencia en ASTM: D 2170-01a

1.0 OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capas de:

- Determinar la Viscosidad Cinemática del Asfalto.
- Conocer el procedimiento del ensayo.
- Conocer el equipo necesario para el ensayo.

2.0 ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre los procedimientos para la determinación de la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos (betunes), aceita para caminos (road oil) y residuos de destilación de asfaltos líquidos (betunes) todos a 60 °C (140 °F) y de cementos asfálticos a 135 ° C (275 ° F) (**NOTA1**) en un rango de 6 a 100 000 mm²/s (cSt).

2.2 Los resultados de este método de ensayo pueden usarse para calcular viscosidad cuando la densidad del material a la temperatura de ensayo es conocida o puede ser determinada. Ver 19.0 Apéndice, 19.A.1 para el método de cálculo.

NOTA 1-Este método de ensayo es adecuado para ser usado a otras temperaturas y a viscosidades cinemáticas menores, siendo la precisión basada en determinaciones en asfaltos líquidos y aceites de caminos a 60 ºC (140 ºC) y en cementos asfálticos a 135 ºC (275 ºF) únicamente en el rango de viscosidad de 30 a 6000 mm²/s (cSt).

2.3 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

***NOTA** – Un asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios en la norma ASTM: D 2170-01 según lo establece la norma AASHTO T 201-03*

3.0 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

T 48 Punto de Flama y Llama por la Copa Abierta Cleveland

3.2 Normas ASTM:

C 670, Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción.

D 341 Cartas Viscosidad – temperatura de Productos Líquidos de Petróleo.

D 445 Método de Ensayo Viscosidad Cinemática de Líquidos Transparentes y Opacos (Calculo de Viscosidad Dinámica).

D 446 Especificaciones e Instrucciones de Operación para Viscosímetros Cinemáticas Capilares de Vidrio.

D 2162 Método de Ensayo para la Calibración Básica de Viscosímetro Patrón y Normas para Viscosidad de Aceites.

D 2493 Cartas Viscosidad –Temperatura para Asfaltos.

E 1 Especificación para Termómetros ASTM.

E 77 Método de Ensayo para Inspección y Verificación de Termómetros.

4.0 TERMINOLOGIA

4.1 *Definiciones:*

4.1.1 *Densidad.*— Es la masa por unidad de volumen del líquido y la unidad de la densidad del agua en el sistema cgs es 1 g/cm³ y la unidad en el sistema SI es 1 kg/m³.

4.1.2 *Viscosidad cinemática.*— La razón de la viscosidad por la densidad de un líquido. Es la medida de la resistencia a fluir de un líquido bajo la gravedad.

a unidad SI de viscosidad cinemática es m²/s; para uso práctico, un submúltiplo (mm²/s) es más conveniente. La unidad cgs de viscosidad cinemática es cm²/s y se llama stokes (con símbolo St). El centistokes (1 cSt = 10^{-2} St) es 1 mm²/s es usado frecuentemente.

4.1.3 *Líquido Newtoniano.*— Un líquido en el cual la tasa de esfuerzo al corte es proporcional al esfuerzo cortante. Si la viscosidad del líquido tiene una relación constante del esfuerzo cortante a la tasa del esfuerzo al corte. Si la razón no es constante, entonces el líquido es No Newtoniano.

4.1.4 *Viscosidad.*— La relación entre el esfuerzo al corte aplicado y la tasa de esfuerzo al corte es llamada el coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es una medida de la resistencia a fluir de un líquido. Es comúnmente llamada viscosidad del líquido. La unidad en cgs de la viscosidad es 1 g/cm-s (1 dina-s/cm^2) y es llamado un Poise (P). La unidad SI de la viscosidad es 1 Pa-s (1 N-s/m^2) y es equivalentes a 10 P.

5.0 RESUMEN DEL METODO DE ENSAYO

5.1 Se mide el tiempo para un volumen fijo de líquido que fluye a través de una vena capilar de un viscosímetro de vidrio, calibrado bajo una altura de carga exactamente reproducible y a una temperatura estrictamente controlada. La viscosidad cinemática se calcula entonces multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

6.0 SIGNIFICADO Y USO

6.1 La viscosidad cinemática caracteriza el comportamiento del flujo. El método se usa para determinar la consistencia del betún, como un elemento para establecer la uniformidad de embarques o fuentes de suministro. Las especificaciones de temperatura son usualmente de 60 y 135 ° C.

7.0 EQUIPO

7.1 Viscosímetros- Tipo capilar, hecho de vidrio de borosilicato, endurecido por calor, los adecuados para este ensayo están descrito en la Sección 14.0 e incluye los siguientes:

7.1.1 Viscosímetro *Cannon*-Fenske para líquidos opacos.

7.1.2 Viscosímetro Zeitfuchs de brazo cruzado (Ver **Fotografía E 19.1.**)

7.1.3 Viscosímetro Lantz-Zeitfuchs.

7.1.4 Viscosímetro BS de tubo en U modificado de flujo inverso.

Fotografía E 19.1. **Viscosímetro Zeitfuchs de brazo cruzado.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

7.2 Los viscosímetros calibrados son distribuidos por proveedores comerciales. Los detalles estimados para la calibración de viscosímetros son dados en el 19.0 Apéndice 19.A.3.

7.3 *Termómetros.*— Los termómetros de vidrio con líquido calibrados a una exactitud después de la corrección de 0.02 ° C (0.04 °F) pueden ser usados o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud. Los termómetros ASTM de Viscosidad Cinemáticas 47C y 47F, IP 35C y 35F son adecuados para ser usados a 60 °C (140 °F) y los termómetros ASTM de Viscosidad Cinemáticas 110C y 110F son adecuados para ser usados a 135 °C (275 °F).

7.3.1 Los termómetros especificados anteriormente son estandarizados a “total inmersión," lo cual requiere una inmersión para la parte superior de la columna de

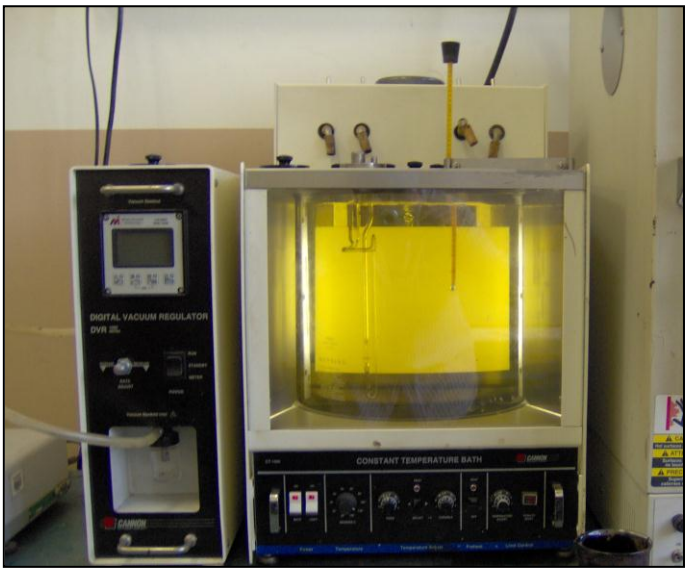
mercurio con lo demás del tallo y la cámara de expansión en la parte superior del termómetro debe de quedar expuesto a la temperatura ambiente. La práctica de sumergir completamente el termómetro no es recomendada. Cuando los termómetros son completamente sumergidos, las correcciones para cada termómetro basado en la calibración bajo las condiciones de inmersión completa deben ser determinadas y aplicadas. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante el ensayo, entonces la presión del gas en la cámara de expansión estará más alta o más abajo que durante la estandarización, y puede causar lecturas altas o bajas en el termómetro.

7.3.2 Es esencial que los termómetros de vidrio con líquido sean calibrados periódicamente usando la técnica dada en el método de ensayo ASTM E 77 (ver 19.0 Apéndice 19.X.1).

7.4 *Baño.*— Un baño adecuado para la inmersión del viscosímetro tal que el deposito del liquido o la parte superior del tubo capilar, el que se encuentre mas alto, este al menos 20 mm por debajo del nivel superior de baño, y con buena visibilidad del viscosímetro y el termómetro. El viscosímetro será provisto de un soporte firme, o el viscosímetro puede ser una parte integral del baño. La eficiencia del movimiento y la estabilidad entre las pérdidas de calor y la entrada de calor, deben ser tales que la temperatura en medio del baño no varié por más de ± 0.03 ° C (± 0.05 ° F) sobre lo largo del viscosímetro, o de viscosímetro a viscosímetro en posiciones diversas del baño a 60 °C (140 °F). La variación a 135 °C (275 °F) no debe exceder a ± 0.03 ° C (± 0.05 ° F).

NOTA 2 El agua destilada es un líquido adecuado para el baño para determinaciones a 60 ° C (140 ° F). Aceite USP White teniendo un punto de flama superior a 215 ° C (420 °F) ha sido encontrado adecuado para determinaciones a 135 °C (275 ° F). El punto de flama es determinado conforme método de ensayo AASHTO T 48.

7.5 *Cronometro.*— Un reloj o un cronometro con un dispositivo para iniciar y detener el tiempo, graduado en divisiones de 0.1 s o menos y con una exactitud de 0.05 % cuando sea ensayado en intervalos no menores de 15 min.



Fotografía E 19.2. **Baño con Aceite USB White.**

Fotografía tomada en Laboratorio del **Centro de Tecnología Aplicada**, Fundación Padre Arrupe.

7.6 *Cronómetros eléctricos.*— Pueden ser usados solamente en circuitos eléctricos donde la frecuencia es controlada a una exactitud de 0.05 % o superior.

7.6.1 *Corriente Alterna.*— Tales frecuencias son controladas intermitentemente y no continuamente controlado, como las provistas por algunos sistemas públicos de energía, pueden causar errores grandes, particularmente sobre intervalos pequeños de cronometraje, cuando son utilizados para accionar contadores de tiempo eléctricos.

8.0 PREPARACION DE LA MUESTRA

8.1 Para minimizar pérdida de componentes volátiles y obtener resultados reproducibles, proceder como sigue:

8.1.1 *Procedimiento para Asfaltos Líquidos (Betún) y Aceite para caminos (Road Oil):*

8.1.1.1 Deje las muestras selladas, como fueron recibidas, para que alcance la temperatura ambiente.

8.1.1.2 Abra el contenedor de la muestra y mezcle completamente por 30 s evitando que el aire quede atrapado. Si la muestra es demasiada viscosa para mezclar, coloque el contenedor bien sellado con la muestra en un baño o en un horno manteniéndolo a una

temperatura de 63 ± 3 ° C (145 ± 5 ° F) hasta que se ponga suficientemente líquido para mezclar.

8.1.1.3 Llene inmediatamente el viscosímetro, o, si el ensayo será realizado posteriormente, verter aproximadamente 20 ml en uno o más contenedores limpios, secos que tenga una capacidad aproximada de 30 ml e inmediatamente selle con una tapadera hermética.

8.1.1.4 Para materiales con viscosidades cinemáticas a 60 ° C (140 ° F) superiores a 800 mm²/s (cSt), caliente la muestra de 20-ml de un contenedor sellado en un horno o en un baño, manteniendo la temperatura de 63 ± 3 °C (145 ± 5 °F) hasta estar suficientemente líquida para una transferencia conveniente en el viscosímetro. Tal calentamiento no deberá exceder 30 min.

Tabla E 19.1. **Aceptabilidad de los Resultados de Ensayo para la Viscosidad Cinemática**

Material y tipo de índice	Coeficiente de Variación (% de)	Rango Aceptable de Dos Resultados de Ensayo (% de)
Precisión de un solo operador:		
Cementos Asfálticos a 135 °C (255 °f)	0.64	1.8
Asfaltos líquidos a 60 °CF (140 °F)		
abajo de 3000 mm2/s (cSt)	0.53	1.5
3000 a 6000 mm2/s (cSt)	0.71	2.0
6000 mm2/s (cSt) y mayores	3.2	8.9
Precisión de Multi-laboratorios:		
Cementos Asfálticos a 135 °C (255 °f)	3.1	8.8
Asfaltos líquidos a 60 °CF (140 °F)		
abajo de 3000 mm2/s (cSt)	1.06	3.0
3000 a 6000 mm2/s (cSt)	3.11	9.0
6000 mm2/s (cSt) y mayores	3.6	10.0

NOTA 3 Los valores dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que han sido encontradas apropiadas para los materiales y las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no deberán excederse por la diferencia entre los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente.

8.1.2 *Procedimiento para cementos asfálticos:*

8.1.2.1 Caliente la muestra con cuidado para prevenir recalentamiento local hasta que se haya fluidificado suficientemente para verter, mezclando ocasionalmente para ayudar a la transferencia de calor y asegurar uniformidad.

8.1.2.2 Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a 135 ± 5.5 ° C (275 ± 10 ° F), mezclando ocasionalmente para prevenir recalentamiento local y evitando el entrampamiento de aire.

9.0 PROCEDIMIENTO

9.1 Los detalles específicos de operación varían un poco para los distintos tipos de viscosímetros. Vea las descripciones detalladas de los viscosímetros en el 19.0 Apéndice, para conocer las instrucciones de uso del tipo de viscosímetro seleccionado. En cualquier caso, sin embargo, siga el procedimiento general descrito desde 9.2 a 9.8.

9.2 (*)Mantenga el baño a la temperatura de ensayo dentro de ± 0.03 ° C (± 0.05 ° F). Aplique las correcciones necesarias, si hay alguna, para todas las lecturas del termómetro.

9.3 Seleccione un viscosímetro limpio y seco, el cual tendrá un tiempo de flujo mayor que 60 s y precalentar a la temperatura de ensayo.

9.4 Cargue el viscosímetro de la manera descrita según el tipo de instrumento, (Ver **Fotografía E 19.3.**) como se ha prescrito en el 19.0 Apéndice.

9.5 Permita que el viscosímetro cargado, permanezca en el baño, (Ver **Fotografía E 19.4.**) el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensayo, como esta prescrito en el 19.0 Apéndice.

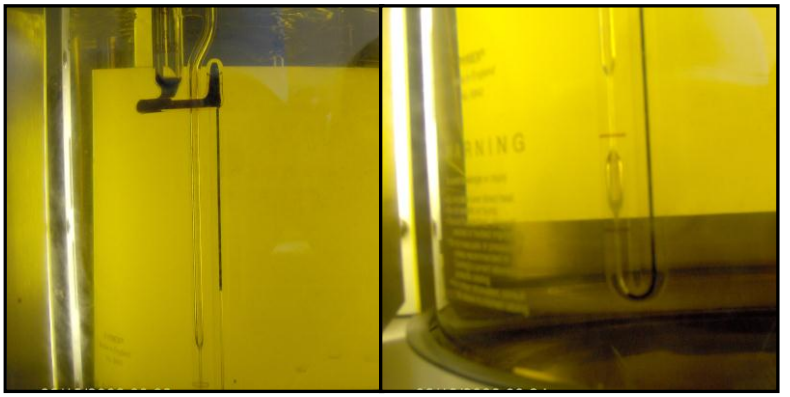
Fotografía E 19.3. **Cargando el Viscosímetro Zeitfuchs de brazo cruzado.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

Fotografía E 19.4. **Viscosímetro reposando en el baño.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

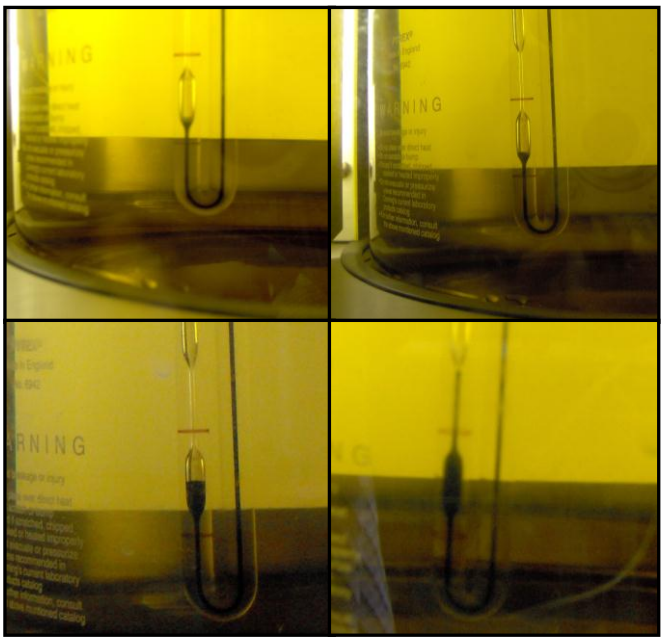
9.6 Inicie el flujo del asfalto en el viscosímetro como esta prescrito en el 19.0 Apendice 19.A.2.



Fotografía E 19.5. **Inicio de flujo del asfalto.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

9.7 Mida dentro de 0.1 s, el tiempo requerido para que el borde de la guía del menisco pase de la primera marca a la segunda. Si el tiempo de flujo es menor de 60 s, seleccione un viscosímetro de diámetro capilar menor y repita la operación.



Fotografía E 19.6. **Inicio de flujo del asfalto.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

9.8 Al completar el ensayo, limpie adecuadamente el viscosímetro con varios enjuagues mezclando la muestra con un solvente adecuado que sea misible con la muestra seguida por un solvente completamente volátil. Seque el tubo pasando una corriente lenta de aire seco, pasándolo por la vena capilar, por 2 min, o hasta que el último rastro de solvente sea removido. Alternativamente, el viscosímetro puede ser limpiado en un horno para limpieza de vidrio, a una temperatura que no exceda 500 ° C (932 ° F), seguida por los enjuagues con agua destilada o desionizada, acetona libre de residuo, y aire seco filtrado. Periódicamente limpie el instrumento con una solución de limpieza fuertemente ácida para remover depósitos orgánicos, enjuague con bastante agua destilada y acetona libre de residuo, y aire seco filtrado.

NOTA 3 El horno de limpieza puede quemar el pegamento que conecta el tubo del viscosímetro y su apoyo.

9.8.1 La solución de acido crómico para la limpieza puede ser preparada añadiendo, con las precauciones de siempre, 800 ml de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 ml de agua. El uso de soluciones de limpieza de ácido sulfúrico similares, comercialmente disponibles, es aceptable. Las soluciones de limpieza de ácido fuertemente oxidantes que no contienen cromo, pueden ser sustituidas para evitar problemas de eliminación de soluciones que contienen cromo.

9.8.2 El uso de soluciones de limpieza de vidrio alcalino puede resultar en un cambio en la calibración del viscosímetro, y no es recomendado.

10.0 CALCULOS

10.1 Calcule la viscosidad cinemática para tres cifras significativas usando la siguiente ecuación:

La viscosidad cinemática, mm^2/s (cSt) = Ct (1)

Dónde:

C = constante de calibración del viscosímetro, mm^2/c^2(cSt/s). y

t = tiempo de flujo, s.

NOTA 4-Otras publicaciones ASTM para la viscosidad pueden ser usadas en conjunto con los resultados determinados de acuerdo con este método de ensayo y estas normas son Método de Ensayo ASTM D 445, estándares ASTM D 341 y ASTM D 2493, y Especificaciones ASTM D446.

11.0 REPORTE

11.1 Siempre reporte la temperatura de ensayo con el resultado, por ejemplo:

Viscosidad cinemática a 60 ° C = 75.6, mm^2 /s (cSt) (2)

12.0 PRECISION

12.1 Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de viscosidad obtenidos por este método esta dado en la **Tabla E 19.1.**

19.0 APENDICE

19.A.1 CALCULO DE LA VISCOSIDAD CON UN LIQUIDO NEWTONIANO

19.A.1.1 La viscosidad de un líquido Newtoniano es calcula multiplicando la viscosidad cinemática por la densidad del líquido a la temperatura de ensayo.

19.A.1.2 Para pavimentos con cierto grado de asfalto, la densidad a 135 °C (275 °F) puede ser convenientemente determinarla multiplicando la gravedad específica a 25/25 ° C (77/77 °F) por un factor de 0.934 g/cm^3; o multiplicando la gravedad específica a 15.5/15.5 °C (60/60 °F) por un factor de 0.931 g/cm^3. Estos factores se basan en un coeficiente común de expansión para cemento asfáltico de 0.00061 / ° C (0.00034 / ° F).

19.A.1.3Cuando la gravedad específica del asfalto no es conocida, una determinación satisfactoria de la viscosidad a 135 ° C (275 ° F) puede ser obtenida multiplicando la viscosidad cinemática a 135 ° C (275 ° F) por una densidad asumida de 0.948 g/cm3. Este valor de densidad es equivalentes para una gravedad específica de 1.015 a 25/25 °C (77/77 °F). Los ensayos en un gran número de asfaltos indican que el error introducido por esta densidad asumida no excederá ± 3%.

19.A.2 VISCOSIMETRO DE FLUJO INVERSO

19.A.2.1 Alcance

19.A.2.1.1 Los viscosímetros de flujo inverso para líquidos transparentes y opacos incluyendo el Cannon Fenske Opaco, Zeitfuchs de brazo cruzad, BS/1P/RF y el Lantz-Zeitfuchs viscosímetros. A diferencia del viscosímetro modificado Ostwald y el viscosímetro suspendido a nivel, la muestra de líquido fluye introduciéndose en un bulbo a cierto tiempo, sin humedecer previamente con la muestra previniendo que la muestra, permitiendo asi registrar el tiempo de los líquidos cuyas películas delgadas son opacas. Los viscosímetros de flujo inverso sirven para medir viscosidades cinemáticas de líquidos opacos y transparentes hasta 100 000 mm^2/s (cSt).

19.A.2.2 Equipo

19.A.2.2.1 Para los viscosímetros de flujo inverso, mostrados en las **Figuras E 19.1, E19.2, E 19.3 y E 19.4**, se detallan las designaciones de tamaño, constante aproximada, rango de viscosidad cinemática, diámetro del tubo capilar, y los volúmenes de los bulbos para cada viscosímetro.

El rango de la viscosidad cinemática es basado en el tiempo mínimo de flujo de 60s, según este método; los mismos viscosímetros están también descritos en la Especificación D 446 con un rango de viscosidad diferente basado en un tiempo mínimo de flujo de 200 s como esta prescrito en el Método de Ensayo D 445. El largo de los tubos superior K, L, M y N en las Figuras E 19.1, E19.2, E 19.3 y E 19.4, pueden ser incrementados (o disminuidos) de acuerdo a los requisitos de inmersión de 7.4.

19.A.2.3. Instrucciones de Operación.

19.A.2.3.1 Un procedimiento de operación estándar esta contenido en la Sección 8. Las instrucciones de operación adicionales para los viscosímetros de flujo inverso son descritas en 19.A.2.3.3-19.A.2.3.8 con énfasis en los procedimientos que son específicos para un instrumento en particular o este grupo de instrumentos.

19.A.2.3.2 Seleccione un viscosímetro limpio y seco que presentará un tiempo de flujo mayor que 60 s.

19.A.2.3.3 Cargue el viscosímetro de la manera indicada por el fabricante del instrumento, esta operación debe estar de acuerdo con el viscosímetro a utilizar cuando el instrumento fue calibrado. Si la muestra contiene hilos, partículas sólidas, etc…, filtrar como se describe en el método de ensayo ASTM D 445.

19.A.2.3.3.1 Para cargar el viscosímetro Cannon Fenske Opaco, invierta el viscosímetro y aplique succión en el tubo L, sumerja el tubo N en la muestra líquida. Succione el líquido a través del tubo N, llenando el bulbo D hasta la marca G. Limpie el excedente de muestra fuera del tubo hasta N e invierta el viscosímetro colocándolo en su posición normal. Coloque el viscosímetro en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo L vertical. (*) Cuando la muestra viaje a través de R y llene el bulbo A aproximadamente a la mitad, pare el flujo colocando un tapón en el tubo L.

19.A.2.3.3.2 Coloque el viscosímetro Zeitfuchs de brazo cruzado en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo N vertical. Introduzca la muestra a través del tubo N teniendo cuidado de no llenar las paredes del tubo, dentro del brazo cruzado D hasta el borde del conducto deteniéndolo dentro 0.5 mm antes de llegar a la marca G en el tubo del sifón.

NOTA 19.A2.1 El volumen del espécimen de ensayo depende de la posición de llenado hasta la marca G. Cuándo el tiempo de flujo del menisco inferior es medido, tomando el tiempo entre las marcas E y F, el menisco superior estará horizontal en el brazo cruzado D, de esta manera haciendo la localización de llenar hasta la marca critica G.

19.A.2.3.3.3 Coloque el viscosímetro Lantz Zeitfuchs en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo N vertical. Introduzca suficiente muestra a través del tubo N, hasta llenar completamente el bulbo D, derrame ligeramente hasta el rebose en el bulbo K. Si la muestra es vertida a una temperatura arriba de la temperatura de ensayo, espera 15 min para que la muestra en el viscosímetro alcance la temperatura del baño, añada más muestra para que se derrame ligeramente el bulbo K. (*)Este período de 15 minutos es parte de y no una adición del tiempo de equilibrio de 14.3.4.

19.A.2.3.3.4 Coloque el viscosímetro BS/IP/RF en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo L vertical. Vierta la muestra a través del tubo N hasta un punto

justamente arriba de la marca G de llenado; permita que la muestra fluya libremente a través del capilar R, tenga cuidado que la columna de líquidos no se rompa y sea continua, hasta que el menisco inferior este a 5 mm abajo de la marca llenado H y entonces detenga su flujo cerrando el tubo oportunamente con un tapón de corcho o de hule en el tubo L. Agregue más líquido si es necesario, para llevar el menisco superior ligeramente por encima de la marca G. Después deje que la muestra alcance la temperatura del baño (ver 19.A.2.3.4) y que cualquier burbuja de aire ascienda hasta la superficie, finalmente afloje el tapón dejando que la muestra fluya hasta la marca inferior de llenado H y detenga el flujo nuevamente. Remueva el exceso de muestra sobre la marca de llenado G, insertando una pipeta especial hasta que su tapón descanse sobre el tubo N; aplique succión suave hasta que el aire es retirado completamente. El menisco superior deberá coincidir con la marca G.

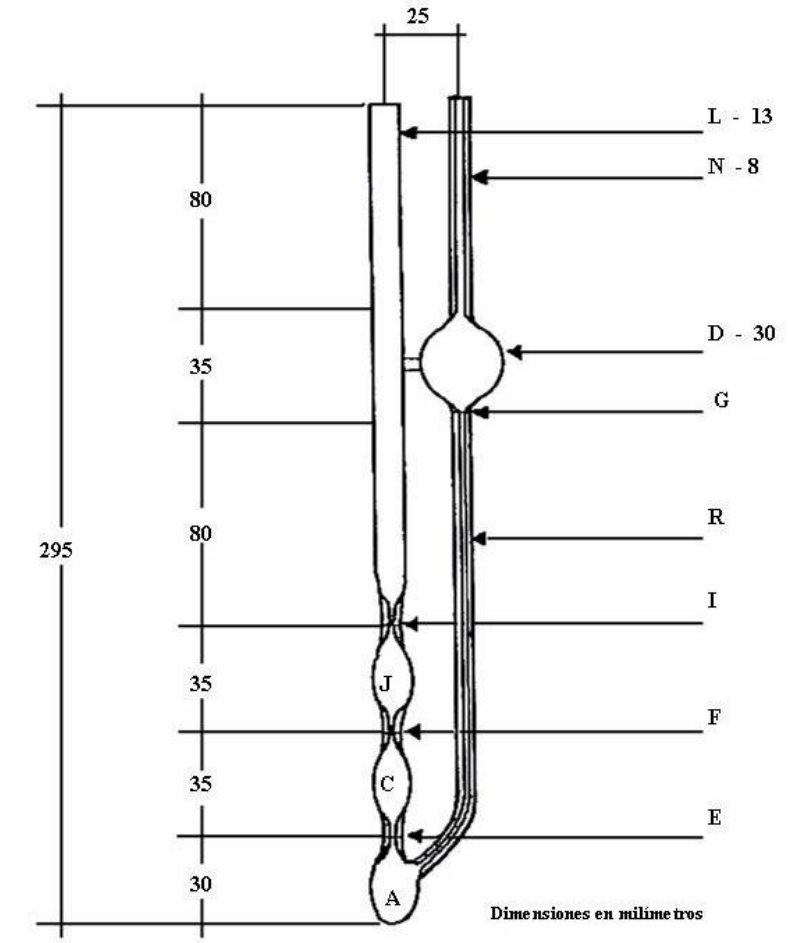
19.A.2.3.4 Deje que el viscosímetro permanezca en el baño a temperatura constante, el tiempo suficiente para asegurar que la muestra alcance la temperatura de equilibrio (10 min como mínimo y 30 min como máximo).

19.A.2.3.5 Para los viscosímetros Cannon Fenske Opaco y BS/IP/RF, remueva el tapón en los tubos N y L, respectivamente, y deje que la muestra fluya por gravedad. (*) Para el viscosímetro Zeitfuchs de brazo cruzado, aplique un vacío ligero en el tubo M (o presión en el tubo N) para que el menisco se mueva sobre el tubo del sifón alrededor de 30 mm abajo del nivel del tubo D en el capilar R; de esta manera el flujo se inicia gravitacionalmente. Para el viscosímetro Lantz Zeitfuchs, aplique un vacío ligero en el tubo *M* (o presión en el tubo *K*) hasta que el menisco inferior este a nivel con la marca E; deje que la muestra fluya por gravedad.

19.A.2.3.6 Mida con una aproximación de 0.1 s el tiempo requerido para que el borde anterior del menisco pase desde la marca del tiempo E hasta la marca F como se describe en la Sección 8 de este método.

19.A.2.3.7 Calcule la viscosidad como se describe en la Sección 9 de este método.

19.A.2.3.8 Limpie el viscosímetro como se describe en la sección 8.8 de este método.

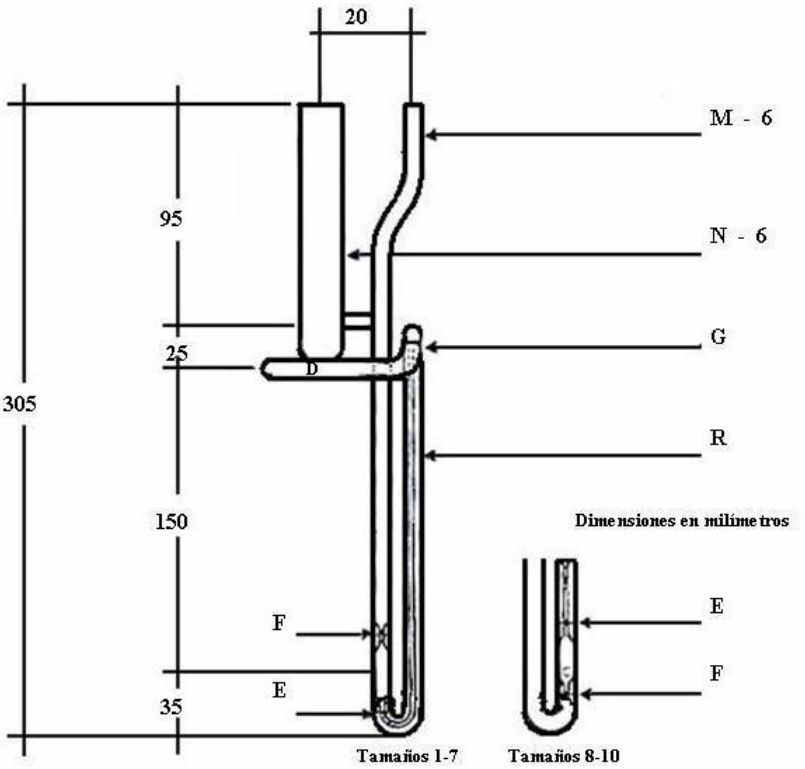


Dimensiones y Rangos de Viscosidades Cinemáticas

Tamaño No.	Constante Aproximada mm²/s(cSt)	Rango de Viscosidad Cinematica mm²/s(cSt)	Diámetro Interno del Tubo, R, mm (± 2%)	Diámetro interno del Tubo N y G Tubos E, I, y F, mm (± 5%)	Volumen de los Bulbos A, C y J mL (± 5%)	Volumen del Bulbo D mL (± 5%)
200	0.1	6 a 100	1.02	3.2	2.1	11
300	0.25	15 a 250	1.26	3.4	2.1	11
350	0.5	30 a 500	1.48	3.4	2.1	11
400	1.20	72 a 1200	1.88	3.4	2.1	11
450	2.5	150 a 2500	2.20	3.7	2.1	11
500	8	480 a 8000	3.10	4.0	2.1	11
600	20	1200 a 20000	4.00	4.7	2.1	13

Figura E 19.1. **Viscosímetro Cannon-Fenske para Líquidos Opacos y Transparentes.**

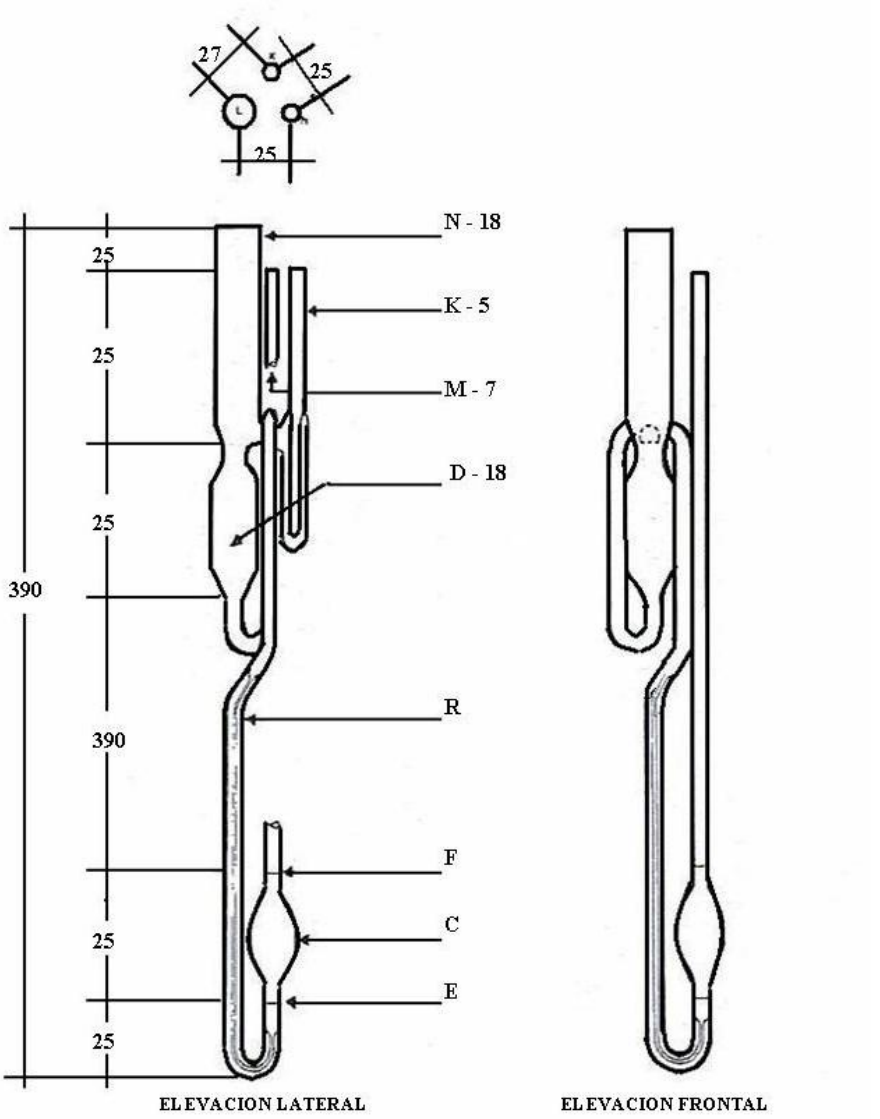
Fotografía tomada en Planta Trituradora Colima MultiPav.



Dimensiones y Rangos de Viscosidades Cinemáticas

Tamaño	Constante Aproximada $mm^2/s(cSt)$	Rango de Viscosidad Cinematica $mm^2/s(cSt)$	Diámetro Interno del Tubo, R, mm (± 2%)	Longitud del Tubo R, mm (± 2%)	Volumen del Bulbo Inferior mL (± 5%)	Diámetro del Tubo horizontal mm(± 5%)
4	0.1	6 a 100	0.64	210	0.3	3.9
5	0.3	18 a 3000	0.84	210	0.3	3.9
6	1.0	60 a 1000	1.15	210	0.3	4.3
7	3.0	180 a 3000	1.42	210	0.3	4.3
8	10.0	600 a 10000	1.93	165	0.25	4.3
9	30.0	1800 a 30000	2.52	165	0.25	4.3
10	100.0	6000 a 100000	3.06	165	0.25	4.3

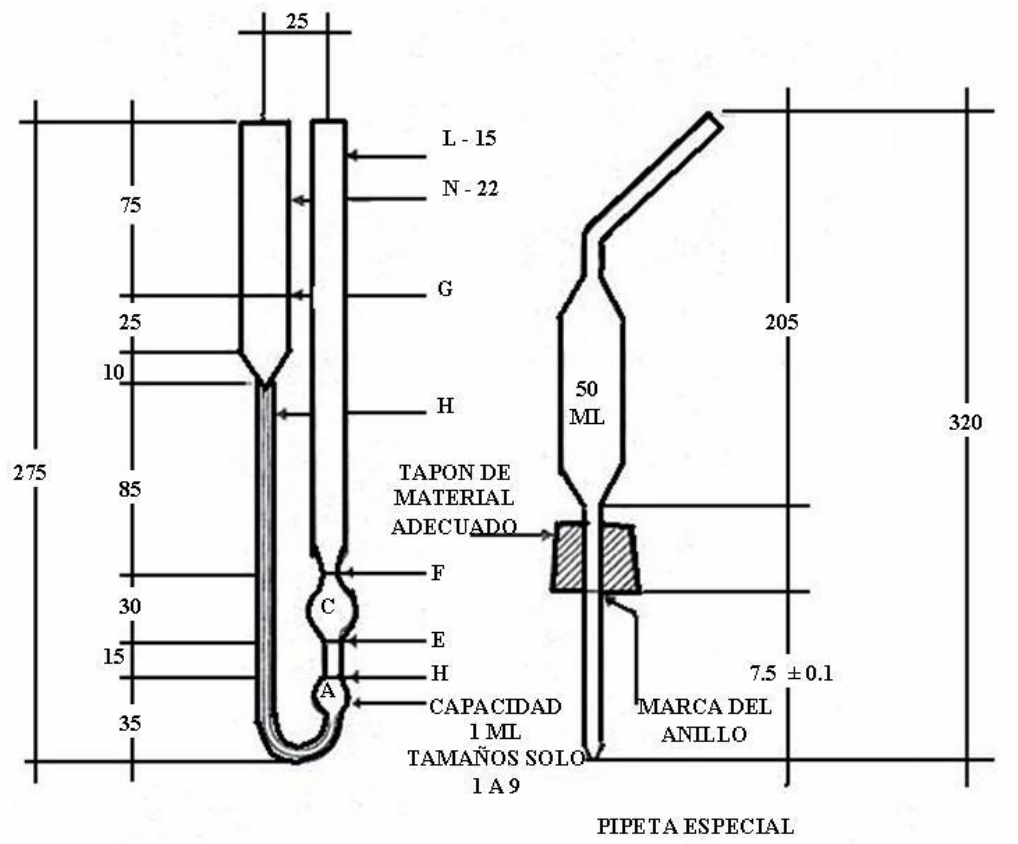
Figura E 19.2. **Viscosímetro Zeitfuchs de Brazo Cruzado para Líquidos Transparentes y Opacos.**



Dimensiones y Rangos de Viscosidades Cinemáticas

Tamaño No.	Constante Aproximada mm²/s(cSt)	Rango de Viscosidad Cinematica mm²/s(cSt)	Diámetro Interno del Tubo, R, mm (± 2%)	Longitud del Tubo R, mm (± 2%)	Volumen del Bulbo C mL (± 5%)
5	0.3	18 a 300	1.65	490	2.7
6	1.0	60 a 1000	2.25	490	2.7
7	3.0	180 a 3000	3.00	490	2.7
8	10.0	600 a 10000	4.10	490	2.7
9	30.0	1800 a 30000	5.20	490	2.7
10	100.0	6000 a 100000	5.20	490	0.85

Figura E 19.3. **Viscosímetro Lantz Zeitfuchs Tipo de Flujo Invertido para Líquidos Opacos.**



Dimensiones y Rangos de Viscosidades Cinemáticas

Tamaño No.	Constante Aproximada mm²/s(cSt)	Rango de Viscosidad Cinematica mm²/s(cSt)	Diámetro Interno del Tubo, R, mm (± 2%)	Longitud del Tubo R, mm (± 2%)	Diámetro interno de E, F y G, mm (± 2%)	Volumen del Bulbo C, mL (± 5%)
4	0.1	6 a 100	1.26	185	3.0 a 3.3	4.0
5	0.3	18 a 3000	1.64	185	3.0 a 3.3	4.0
6	1.0	60 a 1000	2.24	185	3.0 a 3.3	4.0
7	3.0	180 a 3000	2.93	185	3.3 a 3.6	4.0
8	10.0	600 a 10000	4.00	185	4.4 a 4.8	4.0
9	30.0	1800 a 30000	5.5	185	6.0 a 6.7	4.0
10	100.0	6000 a 100000	7.70	210	7.70	4.0
11	300.0	18000 a 300000	10.00	210	10.0	4.0

Figura E 19.4. **Viscosímetro Lantz Zeitfuchs Tipo de Flujo Invertido para Líquidos Opacos.**

19.A.3 CALIBRACIÓN DEL VISCOSIMETRO.

19.A.3.1 Alcance.

19.A.3.1.1 Este anexo describe los materiales y procedimientos usados para calibrar o chequear la calibración de viscosímetros usada en este método.

19.A.3.2 Materiales de referencia.

19.A.3.2.1 Aceite de Viscosidad Estándar , conforme a los aceites de viscosidad estándar ASTM teniendo viscosidades cinemáticas aproximadas, como las que se muestran en la tabla E19.A3.1.Los certificados de valores de viscosidad cinemática establecidos son suministrados con cada muestra.

Tabla E 19.A.3.1 **Viscosidad para Aceites Estándar.**

Aceites de Viscosidad estándar Conforme a las normas ASTM	Viscosidad Cinemática Aproximadas mm2/s (cSt)		
	A 40°C (104°F)	A 50°C (112°F)	A 100°C (212 °F)
S 60	54	--	7.2
S 200	180	--	17
S 600	520	280	32
S 2000	1700	--	75
S 8000	6700	--	--
S 30 000	23000	11000	--

19.A.3.3 Calibración.

19.A.3.3.1 *Rutina de calibración para viscosímetro por medio de líquidos con viscosidades estándar*- Seleccione de la Tabla E 19.A.3.1 un líquido estándar que tenga un tiempo mínimo de flujo de 200s a la temperatura de calibración (preferiblemente a 37.8 °C (100 °F)). Determine el tiempo de flujo con aproximaciones de 0.1 s por el procedimiento descrito en Sección 9, y calcule la constante del viscosímetro, *C*, como sigue:

$$C = v/t \qquad (A3.1)$$

Donde:

v = Viscosidad para el liquido estándar, mm^2/s (cSt) y

t = Tiempo de flujo, s.

19.A.3.3.2 La constante de los viscosímetros es independiente de la temperatura para los siguientes viscosímetros Zeitfuchs brazo cruzado, Lantz-Zeitfuchs y el Tubo BS/ IP/RF U.

19.A.3.3.3 El viscosímetro Cannon Fenske Opaco tiene un volumen fijo de muestra cargada a la temperatura de llenado. Si la temperatura de ensayo difiere a la temperatura de llenado, entonces la constante del viscosímetro será calculada como sigue:

Constante del Viscosímetro, $Ct = Co\ [1+ F(Tt - Tf)]$ (A3.2)

Donde:

Co = constante del viscosímetro cuando es llenado y ensayado a la misma temperatura,

T = temperatura,

F= factor de dependencia a la temperatura (ver 19.A.3.3.4), y

t, f sub-índices= valores a la temperatura de ensayo y a la temperatura de llenado, respectivamente.

19.A.3.3.4 Calcule la constante de dependencia a la temperatura por medio de la siguiente ecuación:

Factor, $F = 4\alpha V/\pi d^2 h = [4V(\rho f - \rho t)] / [\pi d^2 h \rho t(Tt - Tf)]$ (A3.3)

Donde:

V = volumen de carga, cm^3,

d = promedio del diámetro, cms, del menisco del reservorio superior,

h = promedio de la carga dinamica, cms,

α= coeficiente de expansión térmica de la muestra de ensayo, entre temperatura de llenado y la temperatura de ensayo,

ρ= densidad, g/ cm^3, y

t, f sub-índices= como se han definido en 15.3.3

19.A.3.3.5 Si el viscosímetro es usado en otro lugar diferente del laboratorio de calibración, entonces la constante C deberá corregirse para la diferencia en la aceleración de la gravedad, g, en los dos lugares, como sigue:

C2 = (g1/g2)XC1 (A3.4)

Donde:

C2 = constante de calibración en el laboratorio de ensayo de calibración,

C1 = constante de calibración en el laboratorio de calibración,

g2 = aceleración de la gravedad en el laboratorio de ensayo de calibración, y

g1 = aceleración de la gravedad en el laboratorio de calibración,

Los certificados para viscosímetros deberán indicar el valor de la gravedad g, del lugar del laboratorio que los calibra. Fallas al corregir por gravedad pueden resultar en errores de 0.2%.

19.A.3.3.6 *Rutina de Calibración para viscosímetros por medio de un Viscosímetro Estandard*-Seleccione cualquier aceite de petrolero que tenga un tiempo del flujo de al menos 200 s. Seleccione también un viscosímetro estándar de constante C conocida. Este viscosímetro puede ser un viscosímetro maestro que se calibró por los viscosímetros que usan el procedimiento "del elevador" de diámetros sucesivamente mayores, comenzando con agua destilada para la viscosidad básica estándar, (Vea método de ensayo D 2162) o un viscosímetro de rutina del mismo tipo que ha sido calibrado por comparación con un viscosímetro maestro. Los viscosímetros calibrados son distribuidos con un número por los proveedores comerciales.

19.A.3.3.6.1 Coloque el viscosímetro estándar junto al viscosímetro que va ha ser calibrado, en el mismo baño y determine el tiempo de flujo del aceite por el procedimiento descrito en la Sección 8.

19.3.3.6.2Calcule la constante C como sigue;

C1 = (t2XC2)/t1 (A3.5)

Donde:

C1 = constante C del viscosímetro de rutina,

t1 = tiempo de flujo con aproximaciones de 0.1 s del viscosímetro de rutina,

C2 = constante C del viscosímetro estándar, y

t2 = tiempo de flujo con aproximaciones de 0.1 s del viscosímetro estándar.

19.X.1 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CONGELACIÓN Y RECALIBRATION DE TERMÓMETROS DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA

19.A.1.1 Para lograr una exactitud de ± 0.02 ° C (± 0.04 ° F) para calibrar termómetros de viscosidad cinemática, es necesario chequear el punto de congelamiento y determinar las correcciones alteradas para el cambio visto en el punto de congelamiento. Es recomendado que el intervalo de chequeo sea cada seis meses; para termómetros nuevos, el chequeo debe ser mensual para los primeros seis meses.

19.X.1.2 Un procedimiento detallado para la medida del punto de congelación y la recalibracion de termómetros está descrito en la Sección 6.5 del Método de ensayo E 77. Las sugerencias en las siguientes secciones de este apéndice son dadas específicamente para termómetros de vidrio con mercurio de viscosidad cinemática y no puede aplicarse a otros termómetros.

19.X.1.2.1 La lectura del punto de congelamiento del termómetro de viscosidad cinemática será tomada dentro de 60 min estando a la temperatura de ensayo, pero no menos de 3 min. La lectura del punto de congelación será expresada en aproximaciones de 0.01 ° C o 0.02 ° F.

19.X.1.2.2 Seleccione pedazos hielo limpio, preferentemente hechos de agua pura o destilada. Descarte cualquier porción nublada o defectuosa. Enjuague el hielo con agua destilada y raspe o triture en pedacitos, evitando el contacto directo con las manos o cualquier objeto químicamente sucio. Llene la vasija Dewar de hielo triturado y agregue suficiente agua destilada, preferiblemente preenfriada para formar un compuesto, pero no lo suficientemente para que el hielo flote. Como el hielo se derrite, drene algo de agua y añada más hielo triturado. Inserte el termómetro apretujando con el hielo suavemente cerca del tallo, a una profundidad aproximada de una división de escala abajo de la graduación de 0 °C (32 °F). Pede ser necesario acomodar el hielo alrededor del termómetro, por que el hielo se derrite.

19.X.1.2.3 Después de transcurrido 3 min, golpee ligeramente el tallo, y observe las lecturas. Tome lecturas sucesivas al menos cada un minuto, como mínimo deberían estar dentro de una décima de una división.

19.X.1.2.4 Registre el punto de congelación leyendo y comparando con la lectura previa. Si encuentra que la lectura está más alta o más baja a la lectura correspondiente a una calibración previa, las lecturas en todas las otras temperaturas serán correspondientemente aumentadas o disminuidas.

19.X.1.2.5 El procedimiento del punto de congelamiento dado en 19.X.1.1-19.X.1.2.4 sirve para la recalibración de termómetros de viscosidad cinemática, y una nueva calibración completa del termómetro no es necesaria para responsabilizarse por la exactitud adscrita de diseño para este termómetro.

19.X.1.3 Es recomendado que estos termómetros de viscosidad cinemática se guarden verticalmente cuando no estén en uso para evitar la separación de la columna de mercurio.

19.X.1.4 Es recomendado que estos termómetros de viscosidad cinemática sean leídos con aproximaciones de 1/5 de una división usando un aumento apropiado. Puesto que estos termómetros están típicamente en un baño de viscosidad cinemática (teniendo la visión a través de la parte delantera), el termómetro es leído aminorándole al termómetro tal que la parte superior de la columna de mercurio es 5 a 15 mm abajo de la superficie del líquido del baño. Sea precavido para garantizar que la cámara de expansión en la superficie del termómetro está por encima de la tapa del baño a temperatura constante. Si la cámara de expansión está a temperaturas elevadas o a temperaturas menores a la del ambiente, entonces un error significativo puede ocurrir. Este error puede estar tanto como a una o a dos divisiones del termómetro. Una lupa de vidrio puede ser usada para la lectura, pues el libro de lectura puede ser útil para asegurar leer la escala a 1/5 de una división.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (Betunes)

(AASHTO T 201-03, ASTM D 217)

Solicitante	Universidad de El Salvador
Proyecto	Trabajo de Graduación
Procedencia	Planta Multipav,
Ubicación	Guazapa
Material	Asfalto 60-70
Laboratorista	
Fecha de ensayo	

Condiciones de Ensayo	**Valores de ensayo**
Temperatura ^{o}C	135 ^{o}C
Tiempo de Flujo (segundos)	60 s
Tipo de Liquido del Baño	Aceite USB White
Tipo de Viscosímetro	Zeitfuchs de brazo cruzado
Constante del Viscosímetro mm^2/s^2 (cSt/s)	0.930
Temperatura de Ensayo	**Tiempo de Flujo s**
Temperatura 135 ^{o}C	427
Viscosidad Cinemática 135^{o}C mm^2/s (cSt)	397.1

Observaciones:

Ensayo No. 20.

PROCEDIMIENTO PARA CARTAS VISCOSIDAD-TEMPERATURA DE PRODUCTOS DE PETRÓLEO LÍQUIDO

Basado en ASTM D 341-93 (Reaprobada en 1998)

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Poder hacer una carta viscosidad cinemática-temperatura.
- Conocer los tipos de cartas que existen.

2. ALCANCES

2.1 Las cartas de viscosidad cinemática-temperatura (ver las **Figuras E 20.1. y E 20.2**.) descritas por esta norma son una forma conveniente para determinar la viscosidad cinemática de un aceite de petróleo o un hidrocarburo líquido a cualquier temperatura dentro de un rango limitado, previendo que las viscosidades cinemáticas a dos temperaturas diferentes son conocidas.

2.2 Las cartas son diseñadas para permitir que los datos de aceite de petróleo viscosidad cinemática-temperatura sean graficados como una línea recta. Las cartas aquí presentadas proveen una mejora significativa en la linealidad sobre las cartas previamente disponibles bajo el método D 341-43. Esto aumenta la confiabilidad de extrapolar a temperaturas más altas.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

3.1 *Normas ASTM*:

D 445 Método de Ensayo para Viscosidad Cinemática de Líquidos Transparentes y Opacos (Cálculo de Viscosidad Dinámica)[1]

[1] Libro Anual de Normas ASTM, Vol 05.01.

3.2 *Adjuntos ASTM*:

Adjunto D 341, Cartas Viscosidad - Temperatura 1-7[2]

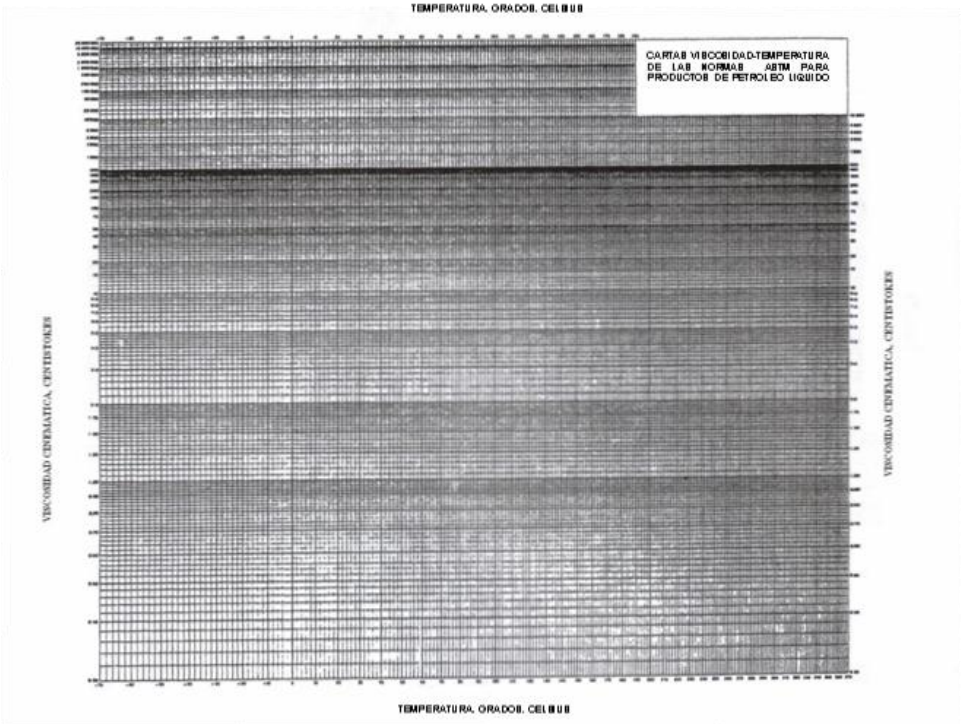


Figura E 20.1. **Facsimil de la carta Viscosidad cinemática-Temperatura I Alto Rango (Temperatura en grados Celsius).**

Fotografía tomada en Planta Trituradora Colima MultiPav.

4. RIESGO TÉCNICO

4.1 **Precaución** —Las cartas deberán ser usadas sólo en el rango en el cual el hidrocarburo o los fluidos de petróleo son líquidos homogéneos. El rango sugerido es entre el punto de oscuridad a bajas temperaturas y el punto de ebullición inicial a temperaturas altas. Las cartas proveen una mejor linealidad en viscosidades cinemáticas bajas y a temperaturas de hasta 340 ° C (aproximadamente 650 ° F) o mayores. Algunos materiales con puntos de ebullición altos pueden mostrar una pequeña desviación de una línea recta a temperaturas bajas como 280 ° C (aproximadamente 550 ° F), dependiendo

[2] Disponible de ASTM Internacional Headquarters. Orden adjunta No. ADJD0341CS.

del muestreo individual o la exactitud de los datos. Datos confiables pueden ser útilmente graficados en la región de temperaturas altas aun si estos presentan alguna curvatura. Las extrapolaciones en tales regiones de temperaturas bajas carecen de exactitud, sin embargo. Los datos de ensayo tomados debajo del punto de oscuridad o en la temperatura donde se forman cristales generalmente no son datos confiables de repetibilidad para la interpolación o la extrapolación en las cartas. También deberá ser enfatizado que fluidos aparte de los hidrocarburos usualmente no resultarán como una línea recta en estas cartas.

5. DESCRIPCIÓN

5.1 Las cartas son diseñadas para permitir datos de viscosidad cinemática - temperatura para un aceite petróleo o fracción, e hidrocarburos en general, para ser graficados como una línea recta en un rango amplio. Siete cartas están disponibles como :

Tabla E 20.1. **Tipos de cartas de viscosidad.**

Carta I—Viscosidad Cinemática, Alto Rango: Viscosidad Cinemática: 0.3 a 20 000 000 cSt Temperatura: -70 a +370ºC Tamaño: 680 por 820 mm (26.75 por 32.25 in.) Relleno a 50 ADJD034101	Carta II—Viscosidad Cinemática, Bajo Rango: Viscosidad Cinemática: 0.18 a 6.5 cSt Temperatura: -70 a +370ºC Tamaño: 520 por 820 mm (20.5 por 32.25 in.) Relleno a 50 ADJD034102
Carta III—Viscosidad Cinemática, Alto Rango: Viscosidad Cinemática: 0.3 a 20 000 000 cSt Temperatura: -70 a +370ºC Tamaño: 217 por 280 mm (8.5 por 11.0 in.) Relleno a 50 ADJD034103	Carta IV—Viscosidad Cinemática, Bajo Rango: Viscosidad Cinemática: 0.18 a 6.5 cSt Temperatura: -70 a +370ºC Tamaño: 217 por 280 mm (8.5 por 11.0 in.) Relleno a 50 ADJD034104
Carta V—Viscosidad Cinemática, Alto Rango: Viscosidad Cinemática: 0.3 a 20 000 000 cSt Temperatura: -100 a +700ºC Tamaño: 680 por 820 mm (26.75 por 32.25 in.) Relleno a 50 ADJD034105	Carta VI—Viscosidad Cinemática, Alto Rango: Viscosidad Cinemática: 0.18 a 3.0 cSt Temperatura: -100 a +700ºC Tamaño: 520 por 820 mm (20.5 por 32.25 in.) Relleno a 50 ADJD034106
Carta VII—Viscosidad Cinemática, Medio Rango: Viscosidad Cinemática: 3 a 20 000 000 cSt Temperatura: -40 a +150ºC Tamaño: 217 por 280 mm (8.5 por 11.0 in.) Relleno a 50 ADJD034107	

5.2 Las cartas I, II, V, y VI son preferidas cuándo es conveniente y la exactitud de la gráfica es deseada. La carta VII es la sección de rango medio de la Carta I a una escala reducida. Es provista por conveniencia con respecto a la evaluación de información y de datos. Las Cartas III y IV son como las Cartas I y II y están provistas en una escala bastante reducida por conveniencia con respecto a reportes o evaluación rápida de datos. Estas últimas no son recomendables para ser usadas donde se necesitan interpolaciones o extrapolaciones precisas.

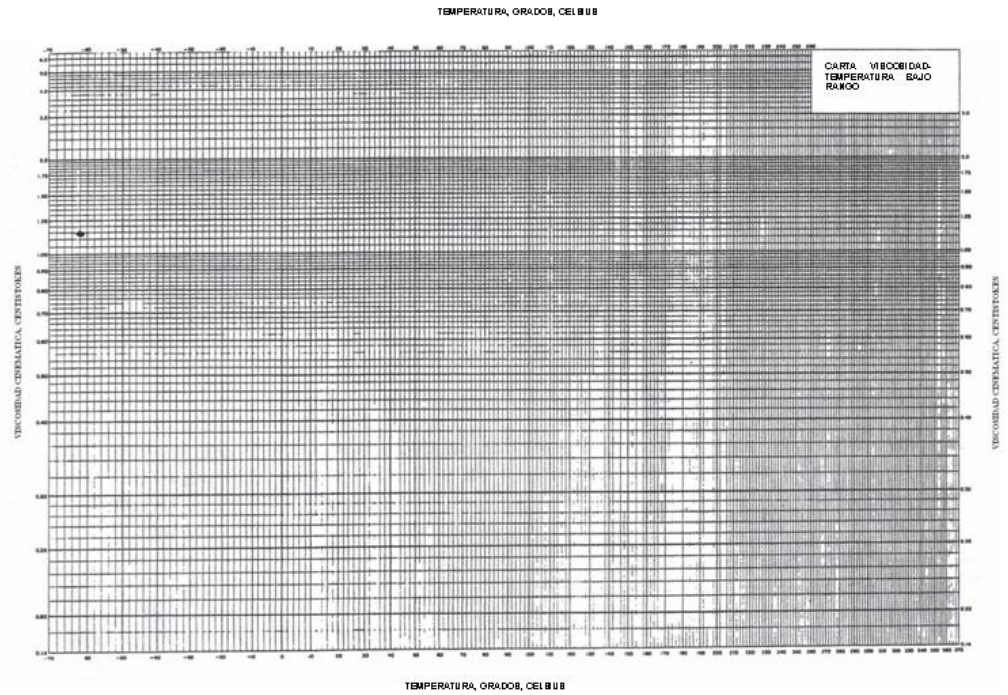


Figura E 20.2. **Facsimil de carta Viscosidad-Temperatura II Bajo Rango (Temperatura en grados Celsius)**

Fotografía tomada en Planta Trituradora Colima MultiPav.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Graficar en la carta dos puntos conocidos de viscosidad cinemática-temperatura. Dibujar una línea recta bien definida a través de ellos. Un punto en esta línea, dentro del rango definido en la Sección 3, muestra la viscosidad cinemática a la temperatura deseada correspondiente y viceversa.[3]

7. EXTRAPOLACIÓN

7.1 Puntos de viscosidad cinemática - temperatura en la porción de extrapolación de la línea, pero todavía dentro del rango definido en la Sección 3, son aceptables cuando son provistas líneas viscosidad cinemática - temperatura que se consideran graficadas correctamente. Para propósitos de extrapolación, es especialmente importante que los dos puntos conocidos viscosidad cinemática – temperatura se encuentren distantes. Si estos dos puntos no están suficientemente distantes, entonces los errores de ensayo en la determinación de las viscosidades cinemáticas y en el dibujo de la línea pueden afectar seriamente la exactitud de los puntos extrapolados, particularmente si la diferencia entre una temperatura extrapolada y la temperatura más cercana determinada por ensayo es mayor que la diferencia entre dos temperaturas determinadas por ensayo. En casos extremos, una determinación adicional por ensayo a una tercera temperatura es recomendable.

8. PALABRAS CLAVES

8.1 cartas; viscosidad cinemática; MacCoull; viscosidad; cartas viscosidad cinemática.

[3] Si las viscosidades cinemáticas no son conocidas, deberían ser determinadas de acuerdo con el Método de Ensayo D 445.

9. EJEMPLO DE UNA CARTA VISCOSIDAD CINEMÁTICA-TEMPERATURA

A continuación se muestra una carta viscosidad temperatura en el grafico E 20.1, tomando como rango de compactación las viscosidades entre 250 y 310 cSt; y el rango de mezclado las viscosidades entre 150 y 190 cSt.

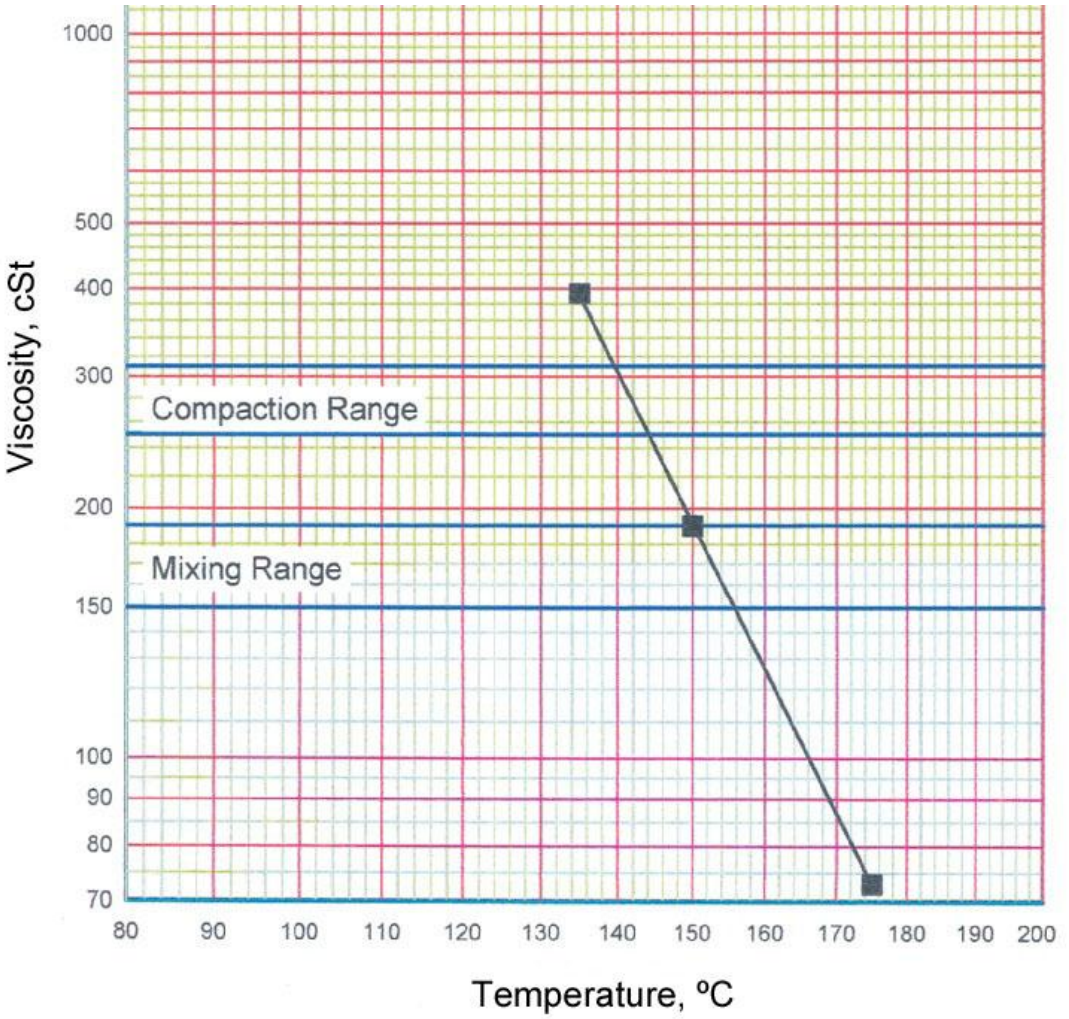


Grafico E 20.1 **Carta viscosidad-Temperatura**

Ensayo No. 21.

EFECTO DEL CALOR Y EL AIRE EN MATERIALES ASFÁLTICOS (ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO)

Basado en norma AASHTO T 179-04
Con equivalencia en ASTM D 1754-97 (2002)

1. OBJETIVOS

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Realizar el ensayo de película delgada en horno.
- Describir los procedimientos para el cálculo de la pérdida de masa del asfalto y el cambio en otras propiedades.

2. ALCANCES

2.1 Este método cubre la determinación del efecto del calor y el aire en una película de material asfáltico semisólido. Los efectos de este tratamiento son determinados para medir las propiedades seleccionadas del asfalto antes y después del ensayo.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 Normas AASHTO:

M 231, Dispositivos Usados para Pesar en el de Ensayo de Materiales.

T 49, Penetración de Materiales Bituminosos.

T 51, Ductilidad de Materiales Bituminosos.

T 201, Viscosidad Cinemática de Asfaltos (Bitumenes).

T 202, Viscosidad de Asfaltos por el Viscosímetro Capilar de Vacío.

3.2 Normas ASTM:

E l, Especificaciones para Termómetros ASTM.

E 145, Especificaciones para Convección Gravitacional y Hornos de Ventilación Forzada.

4. RESUMEN DEL MÉTODO

4.1 Una película de material asfáltico es calentada en un horno por cinco horas a 163 ° C (325 ° F). Los efectos del calor y el aire son determinados por cambios ocurridos en las propiedades físicas medidas antes de y después del tratamiento en el horno. Un procedimiento opcional es proporcionado para determinar el cambio de masa de la muestra.

4.2 Los valores de precisión para el método han sido desarrollados para viscosidad, cambio de viscosidad, cambio de penetración, y cambio de masa; la precisión para otras propiedades no ha sido definida.

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1 Este método indica los cambios aproximados en las propiedades del asfalto durante un mezclado convencional en caliente a temperaturas cercanas a los 150 ° C (300 ° F), indicadas por la viscosidad, penetración, o medidas de ductilidad. Produce un residuo que se aproxima a la condición del asfalto cuando es colocado en el pavimento. Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150 ° C (300 ° F), ocurrirán mayores o menores efectos en las propiedades.

6. EQUIPO

6.1 *Horno.*— El horno (ver **Fotografía E 21.1.**) será calentado eléctricamente de acuerdo a los requisitos de desempeño de ASTM E 145, por Convección Gravitacional y Hornos de Ventilación Forzada Tipo IB (Convección Gravitacional), para temperaturas de operación hasta de 180 ° C (356 ° F). Durante los ensayos de acuerdo a los requisitos de ASTM E 145, la plataforma del horno, estará apropiadamente centrada como se describe en la Sección 6.1.2, colocada adecuadamente y rotando.

6.1.1 *Construcción.*— El horno será rectangular con dimensiones interiores mínimas (exclusivo del espacio ocupado por el elemento calentador), de 330 mm (13 pulg) en cada dirección. (Ver **NOTA 1**.) El horno tendrá, al frente, una puerta bien conectada con bisagras, la cuál cubrirá un área con la misma altura y ancho interior del horno.

La puerta puede contener una ventana con dimensiones de al menos 100 X 100 mm (4 X 4 pulg) y con dos hojas de vidrio separadas, a través de la cual un termómetro, colocado verticalmente como se especifica en la sección 6.2 puede ser leído sin abrir la puerta; o el horno puede ser provisto de una puerta de vidrio interior, a través de la cual el termómetro puede ser observado abriendo la puerta exterior momentáneamente. El horno será ventilado adecuadamente por corrientes de convección de aire y para este propósito será provisto de aberturas para la entrada de aire y para la salida de aire caliente y vapores. Las aberturas pueden ser de cualquier tamaño y la distribución según los requisitos de ASTM E 145, Tipo 1B.

6.1.2 *Plataforma giratoria.*— El horno será provisto de una plataforma circular de metal (ver **Fotografía E 21.2.**) teniendo un diámetro mínimo de 250 mm (9.8 pulg) (**NOTA 1**). La construcción de la plataforma será tal que provea una superficie plana para apoyar los recipientes sin bloquear la circulación de aire a través de la plataforma, cuando los contenedores se encuentran en dicho lugar. La plataforma estará suspendida por un eje vertical y centrada con relación a las dimensiones interiores horizontales del horno y será provista de un dispositivo mecánico que la haga girar a razón de 5.5 ± 1.0 r/min. La plataforma estará ubicada verticalmente tan cerca del centro del horno como sea posible de acuerdo a los requisitos de la sección 6.2 referente a la colocación del termómetro. La plataforma estará construida o marcada de tal manera que los contenedores de la muestra serán colocados en la misma posición durante cada ensayo. Habrá un mínimo de dos y un máximo de seis posiciones para contenedores de muestra. Cada posición del contenedor de muestra será simétrica con relación al eje y a todos los orificios en la plataforma. El número de posiciones del contenedor de muestra será el máximo que se ajuste a la plataforma sin dejar de cumplir los requisitos citados anteriormente y sin excederse mucho.

Fotografía E 21.1. **Horno para ensayo de película delgada.**

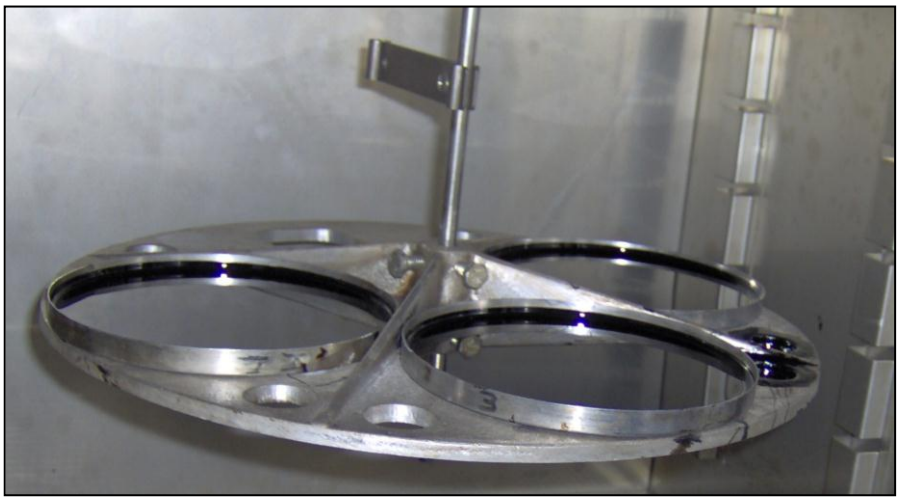
Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

NOTA 1— El tamaño mínimo de los hornos debe ser tal que se pueda acomodar dos contenedores. Para operaciones de rutina y control, los hornos de mayor tamaño, que tienen plataformas proporcionalmente más grandes para acomodar un número mayor de contenedores pueden ser ventajosos y adecuados, con tal que los requisitos de ASTM E 145, Tipo 1B se cumplan. De ninguna manera deberá haber más de una plataforma, colocada en el centro, que estén siendo utilizadas en un horno.

6.1.3 *Tiempo de recuperación.*— Cuándo el horno obtiene una temperatura de 163 ° C (325 ° F) y dos contenedores de muestra se introducen, el horno será capaz de regresar a 162 ° C (323 ° F) dentro de 15 minutos.

6.2 *Termómetro.*— Un Termómetro ASTM de Pérdida por Calentamiento que tenga un rango de 155 ° C a 170 ° C y de acuerdo a los requisitos para Termómetros 13C, como está prescrito en ASTM E 1. El termómetro será suspendido desde el eje de la plataforma circular en una posición vertical en un punto equidistante del centro y el borde exterior de la plataforma. El fondo del bulbo del termómetro estará a 6.4 mm (1/4 pulg) por encima de la parte superior de la plataforma.

6.3 *Contenedor.*— Un contenedor cilíndrico de 140 mm (5 ½ pulg) de diámetro interior y 9.5 mm (3/8 pulg) de altura con un fondo plano (ver **Fotografía E 21.3.**). Cincuenta mililitros de muestra colocada en este tamaño de contenedor da una película de espesor de 3.2 mm (1/8 pulg). Los contenedores serán de acero inoxidable y deberán tener un espesor de aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulg).



Fotografía E 21.2. **Estante giratorio circular para horno de película.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

NOTA 2 — Los contenedores tendrán una tendencia a pandearse y doblarse con el uso. Aunque los ensayos indican que una pequeña cantidad de pandeo no afecta significativamente los resultados, la inspección frecuente para eliminar los contenedores seriamente pandeados o dañados es recomendable. Los espesores indicados han sido encontrados para proveer una rigidez adecuada sin peso excesivo. Los contenedores de acero inoxidable manufacturados de 0.6 mm (No. 24) de hoja calibrada cumplen con el espesor recomendado. Los contenedores hechos de 0.5 mm (No. 26) de hoja calibrada de acero inoxidable son también aceptables pero tienen una tendencia mayor a pandearse durante su uso. Sin embargo, en ningún caso será el espesor del metal menor de 0.381 mm (0.015 pulg).

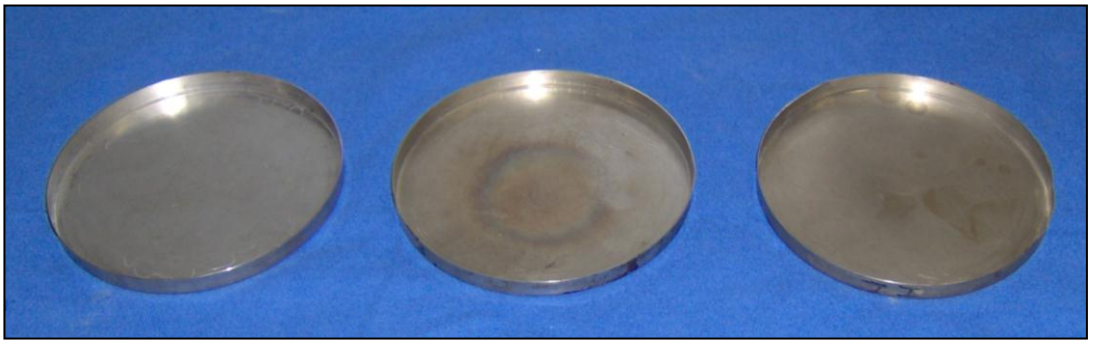
6.4 *Balanzas.*— Si la pérdida por calentamiento es deseada, una balanza de Clase B de acuerdo a los requisitos de AASHTO M 231 es necesaria. Si sólo el residuo es deseado, entonces una balanza Clase G 2 de acuerdo a AASHTO M 231 puede ser usada.

7. PREPARACION DE MUESTRAS

7.1 Colocar suficiente material para el ensayo en un contenedor adecuado y calentarlo hasta alcanzar una condición fluida (ver **Fotografía E 21.4.**). Teniendo el cuidado de que no haya recalentamiento local de la muestra y que la temperatura alcanzada no exceda 150 ° C (302 ° F). Revolver la muestra durante el período de calentamiento, pero evitar que se incorporen burbujas de aire en la muestra. Pesar 50.0 ± 0.5 g para cada contenedor (ver **Fotografía E 21.5**), colocando dos o más contenedores de muestra previamente pesados conociendo los requisitos de la Sección 6.3 (**NOTA 3**).

NOTA 3 — Cuando son deseados otros ensayos en el residuo además de la penetración y la ductilidad, más de dos contenedores pueden ser necesarios para proveer suficiente material para el ensayo.

7.2 Al mismo tiempo, verter una porción de la muestra en los contenedores especificados para la medida de propiedades del asfalto original. Completar estos ensayos por los métodos de ensayo AASHTO, apropiados.



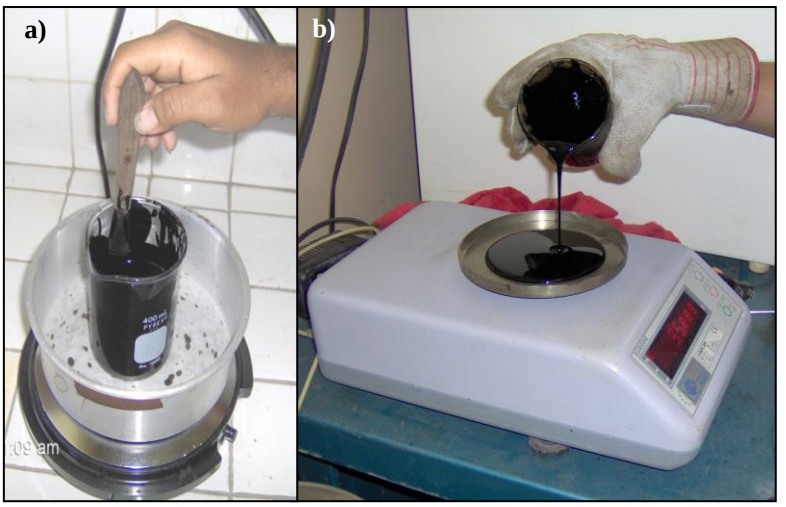
Fotografía E 21.3. **Contenedores para ensayo de película delgada.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

7.3 Si el valor cuantitativo de la pérdida o la ganancia en masa de la muestra es deseado, enfriar las muestras a la temperatura del cuarto para el ensayo en horno y determinar la masa de cada muestra separadamente con una precisión de 0.001 g. Si el cambio en masa no es requerido, permita que las muestras se enfríen a una temperatura aproximadamente a la del cuarto, antes de colocarla en el horno como es descrito en la Sección 8.3.

8. PROCEDIMIENTO

8.1 Nivelar el horno de tal manera que la plataforma giratoria se encuentre en un plano horizontal. Se debe tener el cuidado que no haya recalentamiento local de la muestra y que la temperatura más alta alcanzada no exceda los 150 ° C (302 ° F). Determinar la temperatura del horno por medio de los termómetros especificados (Sección 6.2).



Fotografía E 21.4.

a) Muestra siendo calentada hasta alcanzar la condición fluida.
b) Muestra siendo vertida en condición fluida

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

8.2 Colocar un contenedor de muestra vacío en cada una de las posiciones para contenedores de muestra predeterminadas en la plataforma giratoria. Ajustar el control de la temperatura de tal forma que en el termómetro especificado (Sección 6.2) se lean 163 ± 1 ° C (325 ± 2 ° F) cuando el horno se encuentre estable. Una vez que el ajuste se ha completado, los recipientes de muestra vacíos pueden ser removidos a juicio del operador. Sin embargo, la temperatura de control no será reajustada una vez hayan sido removidos los contenedores de muestra.

Fotografía E 21.5. **Masa de la muestra, rango de 50 ± 0.5g.**

Fotografía tomada en Fundación Padre Arrupe Centro de Tecnología Aplicada.

NOTA 4 — Remover los contenedores de muestra afectará los patrones de convección en el horno y pueden causar que la lectura del termómetro cambie del nivel deseado. Este fenómeno es normal y ocurre porque el termómetro no está en la misma localización que el sensor de control de temperatura. Reubicar los contenedores causaría que el termómetro regrese al nivel original.

8.3 Con el horno a 163 ° C (325 ° F), colocar rápidamente los contenedores con la muestra en la plataforma circular. Llenar cualquier posición vacante con contenedores de muestra vacíos, a fin de que cada posición del contenedor de muestra sea ocupada. Cerrar la puerta del horno, e iniciar la rotación de la plataforma. Mantener la temperatura a 163 ± 1 ° C (325 ± 2 ° F) por cinco horas después de que la muestra se haya introducido y que el horno haya alcanzado esa temperatura. El período de cinco horas comenzará cuando alcance los 162 ° C (323 ° F) y en ningún caso el tiempo total que una muestra se encuentre en el horno será de más de 5.25 horas (5 horas 15 minutos). Al concluir el período de calentamiento, remover las muestras del horno. Si el cambio en masa no está siendo determinado, entonces proceder de acuerdo con la Sección 8.5. Si el cambio en masa es determinado, entonces enfriar a la temperatura del cuarto, determinar la masa con una precisión de 0.001 g, y calcular el cambio en masa con base en el asfalto

en cada contenedor. Cuando los ensayos completos no pueden ser hechos el mismo día, y si la pérdida o ganancia de la masa de la muestra está siendo determinada, entonces determinar la masa de los residuos y guardarlos en la noche antes de recalentar. Si el cambio en masa no está siendo determinado, entonces transferir el residuo a un contenedor adecuado de preferencia uno de 240-ml (8-oz) como se ha descrito en la Sección 8.4 antes de almacenarlo en la noche.

NOTA 5 — Materiales que tienen características diferentes de cambio de masa no deberán generalmente ser ensayados al mismo tiempo, debido a la posibilidad de que haya una absorción cruzada.

NOTA 6 — Este método de ensayo no prohíbe colocar una muestra de asfalto bajo el termómetro. Sin embargo, es recomendado que esta posición no sea ocupada por la muestra, y que un recipiente vacío se encuentre en esta posición para minimizar el riesgo asociado con que se rompa el termómetro.

8.4 Después de pesar los contenedores con los residuos, se colocan en un depósito (s) refractario (s). Ponga el (los) depósito (s) y los contenedores en la plataforma circular del horno mantenido a 163 ° C (325 ° F). Cerrar el horno y girar el estante por 15 ± 2 minutos, remover las muestras y el (los) depósito (s), e inmediatamente proceder como está descrito en la Sección 8.5.

8.5 Verter la muestra en un contenedor de 240-ml (8-oz). Remover sustancialmente todo el material de los contenedores de 140 mm (5 1/2 pulg) raspando con una espátula adecuada o espátula para aplicar masilla. Revolver los residuos combinados completamente, colocando el recipiente de 240-ml (8-oz) en un plato caliente para mantener el material en una condición fluida si es necesario. Verter el material en los contenedores adecuados o moldes para la penetración, la ductilidad, u otros ensayos si es requerido. Completar los ensayos en el residuo por los métodos apropiados de ensayo AASHTO dentro de 72 horas desde que se ha realizado el ensayo de envejecimiento.

NOTA 7 — Los contenedores pueden ser removidos del horno y raspados uno a la vez con tal que cada contenedor se mantenga en el horno los 15 ± 2 minutos requeridos.

9. REPORTE

9.1 Reportar los valores de las propiedades originales del asfalto medidas en la Sección 7.2 y los valores de la propiedad del residuo medidas en la Sección 8.5. El cambio de viscosidad también puede ser expresado como la proporción de la viscosidad residual del asfalto con respecto a la viscosidad original del asfalto. El cambio de penetración es evaluado como la penetración del residuo expresado como el porcentaje de la penetración original.

9.2 Reportar la ductilidad u otro resultado de ensayo de acuerdo con el método de ensayo AASHTO apropiado.

9.3 Cuando se haya determinado, reportar el cambio promedio en masa del material en todos los recipientes usados en el ensayo como el porcentaje de masa del material original. Una pérdida de masa será reportada como un número negativo, mientras que una ganancia de masa será reportada como un número positivo.

NOTA 8 — Este ensayo puede resultar en ya sea una pérdida de masa o una ganancia de masa. Durante el ensayo, componentes volátiles se evaporan (causando una disminución en masa), mientras que el oxígeno reacciona con la muestra (causando un incremento en masa). El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia global de masa o una pérdida de masa global. Las muestras con un porcentaje muy bajo de componentes volátiles usualmente exhibirán una ganancia de masa, mientras que las muestras con un porcentaje alto de componentes volátiles usualmente exhibirán una pérdida de masa.

10. CÁLCULOS

10.1 Para calcular el porcentaje de pérdida en el residuo de asfalto del ensayo de película delgada debe utilizarse la siguiente formula:

$$\%\ \text{de perdida} = \frac{\text{Peso de muestra}_{\text{antes de ensayo}} - \text{Peso de muestra}_{\text{después de ensayo}}}{\text{Peso de muestra}_{\text{antes de ensayo}}} \times 100\% \qquad (1)$$

Para reportar el resultado del porcentaje de perdida ver 9.3, teniendo el cuidado de poner los signos adecuados para la pérdida o ganancia de la muestra (ver **Nota 8**).

10.2 Para el cálculo de la penetración residual del asfalto después de ensayo utilizar la siguiente formula:

$$\%\,\text{de penetración residual} = \frac{\text{Penetración a } 25^{o}\text{C después del ensayo}}{\text{Penetración a } 25^{o}\text{C antes del ensayo}} \times 100\% \qquad (2)$$

El ensayo de penetración para el residuo de asfalto después del ensayo será según la norma AASHTO T 49 Penetración de Materiales Bituminosos.

10.3 SIECA da unos ensayos que son opcionales al criterio del contratante, encontrándose entre ellos la razón de viscosidades, la cual se puede calcular con la siguiente formula:

$$\text{Razón de viscosidades} = \frac{\text{viscosidad absoluta a } 60^{o}\text{C para el residuo}}{\text{viscosidad absoluta a } 60^{o}\text{C para asfalto original}} \times 100\% \qquad (3)$$

Siendo sus unidades respectivas en poises (P).

11. PRECISIÓN

11.1. Criterio para juzgar la aceptabilidad de la viscosidad a 60 °C (140 ºF) y 135 °C (275 °F), la razón de viscosidad a 60 ° C (140 ° F), cambio en la penetración a 25 ° C (77 ° F), y los resultados de ensayos de cambio de masa obtenidos por este método se encuentran en la **Tabla E 21.1**.

11.1.1 Los valores dados en la Columna 2 son las desviaciones estándar que han sido encontradas apropiadas para los materiales y las condiciones de ensayo descritas en la Columna 1. Los valores dados en la Columna 3 son los límites que no deberían ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos ensayos hechos apropiadamente. Los valores dados en la Columna 4 son los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para los materiales y las condiciones de ensayo descritos en la Columna 1. Los valores dados en la Columna 5 son los límites que no serán excedidos

por la diferencia entre los resultados de dos ensayos hechos apropiadamente expresados como un porcentaje de sus promedios.

11.2. Criterios para juzgar la variabilidad de otros resultados de ensayos no están disponibles en este momento.

Tabla E 21.1. **Precisión**

Material y tipo de índice	Desviación estándar (1S)	Rango aceptable de dos resultados (D2S)	Coeficiente de variación (Porcentaje de promedio) (1S%)	Rango aceptable de dos resultados (Porcentaje de promedio) (D2S%)
Precisión de un solo operador:				
Porcentaje de penetración residual	1.43	4.0	—	—
Cambio en porcentaje de masa:				
Menor o igual a 0.4% (max)	0.014	0.04	—	—
Mayor que 0.4%	—	—	2.9	8.0
Viscosidad a 60 ºC (140 ºF)	—	—	3.3	9.3
Viscosidad a 135 ºC (275 ºF)	—	—	2.0	5.7
Razones:				
Viscosidad a 60 ºC (140 ºF) después del ensayo / Viscosidad a 60 ºC (140 ºF) antes del ensayo	—	—		
Precisión multilaboratorio:				
Porcentaje de penetración residual	2.90	8.0	—	—
Cambio en porcentaje de masa:				
Menor o igual a 0.4% (max)	0.055	0.16	—	—
Mayor que 0.4%	—	—	14.0	40.0
Viscosidad a 60 ºC (140 ºF)	—	—	11.6	33.0
Viscosidad a 135 ºC (275 ºF)	—	—	6.4	18.0
Razones:				
Viscosidad a 60 ºC (140 ºF) después del ensayo[a] / Viscosidad a 60 ºC (140 ºF) antes del ensayo	—	—	9.1	26.0

[a] Precisión multilaboratorio aplicable a cementos asfálticos que tienen razones de viscosidad menores que 3.0. Precisión para razones mayores que 3.0 no han sido establecidos.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE PELICULA DELGADA EN HORNO
(AASHTO T 179-04, ASTM D1754-97)

Solicitante	Trabajo de Graduación
Proyecto	Trabajo de Graduación
Procedencia	RASA S.A. de C.V.
Ubicación	Universidad de El Salvador
Material	Asfalto 60/70
Laboratorista	
Fecha de ensayo	

DESCRIPCION			
PERDIDA DE MASA EN ASFALTO	**Muestra 1**	**Muestra 2**	**Muestra 3**
Peso de tara (g)	109.81	110.28	112.63
Peso de muestra + tara (antes de ensayo) (g)			
Peso de muestra (antes de ensayo) (g)	50.125	50.034	50.700
Peso de muestra + tara (después de ensayo) (g)	159.953	160.324	163.382
Peso de muestra (después de ensayo) (g)	50.143	50.044	50.752
Peso del residuo (g)	-0.018	-0.01	-0.052
% de pérdida o ganancia	0.04	0.02	0.10
Promedio		0.03	

Observaciones:

Los valores de peso de residuo dan un valor negativo puesto que el asfalto tuvo ganancia de oxígeno, dando como resultado un aumento en el peso inicial de la muestra.

CAPITULO IV: DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

4.1 GENERALIDADES

4.1.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Las mezclas asfálticas, es material que está formada por una combinación de agregados pétreos, ligante hidrocarbonado, y aditivo en algunos casos; de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento de la carpeta de rodadura y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Existen tres métodos de diseño utilizados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados. Ellos son el Método Marshall y el Método Hveem, actualmente el método que se utiliza en EEUU es el método SUPERPAVE ya que se considera que la metodología de diseño esta basada en pruebas más reales y científicas y no empíricas como las del método Marshall; debido a las condiciones económicas los países como el nuestro se sigue utilizando es el método Marshall.

4.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más cemento asfáltico.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.

- Concreto asfáltico: Agregado grueso, agregado fino, polvo mineral y cemento asfáltico.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más cemento asfáltico.

b) Por la Temperatura de puesta en obra.

➢ *Mezclas asfálticas en Caliente*: El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 140 ºC. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación. .

➢ *Mezclas asfálticas en Frío*: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

➢ *Mezclas Cerradas o Densas*: contienen cantidades de agregados en proporciones adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, incluyendo filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. La proporción de vacíos no supera el 5 %. Las mezclas densamente graduadas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables. En las mezclas asfálticas en caliente, deben preferirse agregados con granulometría densa, o muy cercana a la densa.

- *Mezclas Semi-cerradas o Semi–densas*: La proporción de vacíos está entre el 5 % y el 10%.
- *Mezclas Abiertas*: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- *Mezclas Porosas o Drenantes*: Mezclas asfálticas utilizadas como carpeta de rodadura, que se caracteriza por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre si. Permitiendo el paso del agua a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de las calzadas. La proporción de vacíos es superior al 20 %.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- *Mezclas Gruesas*: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- *Mezclas Finas*: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un agregado fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- *Mezclas con Esqueleto mineral*: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- *Mezclas sin Esqueleto mineral*: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría.

- *Mezclas Continuas*: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico (Zona comprendida entre dos curvas granulométricas).
- *Mezclas Discontinuas*: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

4.1.3 EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

A continuación se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

1. The Hubbard-Field (1920´s). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.

2. Método Marshall (1930´s). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40´s.

3. Método Hveem (1930´s). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalua una estabilidad pseudotriaxial.

4. Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia a las roderas (efectos de deformación acumulada).

5. Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia de grietas a baja temperatura.

6. Método SUPERPAVE (1993) El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en

laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos.

4.1.4 CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA (Analizando el Método Marshall)

La mezcla asfáltica en caliente preparada en laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento. Determinando así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla. Las cuales se detallan a continuación:

4.1.4.1 Densidad: esta definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen especifico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura mas durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/pie^3), se calculada al multiplicar la gravedad especifica total de la mezcla por la densidad del agua (1,000 kg/m^3 o 62.416 lb/pie^3). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

4.1.4.2 Vacíos de aire: están presente entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico. A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

4.1.4.3 Vacíos en el Agregado Mineral (VMA): son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá mas espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre mas gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VMA recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VMA establecidos como mínimos (Ver **Tabla 4.7**, Pág. 419), siendo esto completamente perjudicial y dañino para

la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

4.1.4.4 Contenido de asfalto: el contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado esta directamente relacionada con el contenido optimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

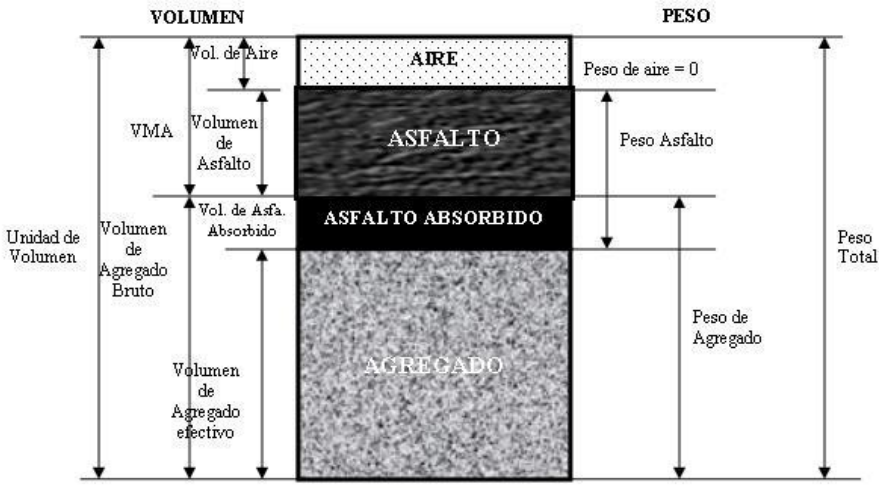


Figura 4.1. **Diagrama de componentes una mezcla asfáltica de HMA**

Tomado de Strategic Highway Research Program SHRP A-369, 1994.

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a varia de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado

en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.
El contenido total de asfalto: cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

4.1.4.5 Vacíos Llenos de Asfalto VFA: son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor como un porcentaje.

4.1.5 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para obtener una mezcla de calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Deslizamiento, Impermeabilidad y Trabajabilidad.

4.1.5.1 Estabilidad: es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el transito. La carpeta asfáltica debe de ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas. La fricción interna depende de la textura superficial, graduación del agregado, forma de la partícula, densidad de la mezcla, y, del contenido y tipo de asfalto. La estabilidad es función de la fricción y la resistencia inter-bloqueada del agregado en la mezcla. Cuando sobrepasamos el nivel óptimo de asfalto la película es demasiado gruesa y esto genera que la cohesión decrezca, resultando en perdida de fricción entre las partículas que componen la mezcla asfáltica. Es importante que las partículas que

componen el agregado sean angulares y ásperas en su textura superficial, esto dará una alta estabilidad a la mezcla.

Los problemas clásicos debido a una estabilidad baja se detallan a continuación:

a) Ahuellamiento: consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. (Ver **Fotografía 4.1**). Las cargas repetitivas de transito conducen a deformar permanentemente cualquier capa que componen la estructura del pavimento, sin embargo cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el optimo de asfalto se ha sobrepasado y genera por consiguiente perdida de cohesión. El ahuellamiento también es producido por la forma redondeada de la partícula, por la falta de textura áspera, falta de adherencia y absorción del agregado. Es decir, si una mezcla tiene un óptimo de asfalto y sus agregados no cumplen con las siguientes propiedades (ver Capitulo II) tales como: graduación, limpieza, dureza, textura superficial, capacidad de absorción, afinidad con el asfalto, peso específico, también nos generara ahuellamiento y una serie de problemas que desarrollaremos en este capitulo.

Fotografía 4.1. **Ahuellamiento.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 16.

b) Corrimiento: desplazamiento de la mezcla asfáltica provocando distorsiones en la superficie de la carpeta asfáltica. (Ver **Fotografía 4.2**). Acompañado a veces por levantamiento de material formando "cordones" principalmente laterales. Estos desplazamientos son ocasionados por las cargas de transito y son debido al exceso de asfalto, falta de vacíos o bien por falta de confinamiento lateral. La corrugación son

una serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del transito, siendo próximas unas de otras, por lo general menores a 1.0 mts entre ellas.

Fotografía 4.2. **Corrimiento.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 17.

c) Exudación del asfalto: es el afloramiento del asfalto o ligante asfáltico hacia la superficie de la carpeta asfáltica. Formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante las altas temperaturas. (Ver **Fotografía 4.3**.). Es causado específicamente por un excesivo contenido de asfalto. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficiente, durante épocas calurosas. El proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frió, por tal motivo el asfalto se acumula en la superficie.

Fotografía 4.3. **Exudación o Afloramiento.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 24.

4.1.5.2 Durabilidad: es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperatura y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), envejecimiento, segregación, etc. Puede mejorarse la durabilidad de una mezcla asfáltica de tres maneras:

a) Utilizando un contenido óptimo de asfalto: se aumenta la durabilidad de la mezcla ya que las partículas del agregado están cubiertas por una película gruesa de asfalto. Esto evita el envejecimiento y el endurecimiento del asfalto, reteniendo por más tiempo las características originales tanto del asfalto como de los agregados.

b) Utilizando una graduación densa: esto proporciona un contacto mas cercano entre las partículas de agregado, mejorando así la impermeabilidad de la mezcla.

c) Diseñar y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad: esto se logra mediante la compactación por medios mecánicos utilizando maquinaria y equipo adecuado.

Tabla 4.1. **Causas y efectos de la poca durabilidad.**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Causas	Efectos en la carpeta
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregado susceptibles al agua (hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando una carpeta de rodadura desgastada ó desintegrada

4.1.5.3 Flexibilidad: es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y sub-base. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura. De hecho, todas las estructuras tienden a tener asentamientos diferenciales. La flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido óptimo, a partir de este, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser extremadamente flexible y provoca entonces

una mezcla con estabilidad baja. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, mas flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

4.1.5.4 Resistencia a la fatiga: es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la flexión repetida causada por las cargas de transito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Por tal razón, las mezclas asfálticas de graduación densa presentan mayor resistencia a la fatiga que las mezclas asfálticas de graduaciones abiertas. El envejecimiento y endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, influyen determinantemente en la vida útil de una carpeta de rodadura asfáltica. Si la carpeta asfáltica presenta buena resistencia a la fatiga y la sub-base esta mal compactada, se verán claramente los asentamientos y la resistencia a la fatiga disminuye considerablemente. Caso contrario si la sub-base esta bien compactada y la carpeta asfáltica presenta mala resistencia a la fatiga la carpeta se dañara. Por lo anterior, el pavimento debe trabajar en conjunto para que pueda resistir la flexión causada por el transito.

Entre algunos daños visibles debido a una mala resistencia a la fatiga se detallan a continuación:

a) Fisura Piel de Cocodrilo: Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de la carpeta asfáltica, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanza su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. (Ver **Fotografía 4.4**.). La fisura piel de cocodrilo son causadas por la fatiga que sufre la

carpeta de asfáltica al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

Fotografía 4.4. **Fisura Piel de Cocodrilo.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 10.

b) Fisuras en Bloque: Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 a 9.0 m². Se presenta generalmente en una gran área de la carpeta asfáltica y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico.

Fotografía 4.5. **Fisuras en bloque.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 11.

Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la carpeta asfáltica o en la base y sub-base.
La presencia de fisuras en bloques generalmente es un indicativo de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

c) Fisura Transversal: Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie de la carpeta asfáltica, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m próximos al borde lateral de la carpeta de rodadura. La contracción de la mezcla asfáltica por perdida de flexibilidad, es decir si una carpeta asfáltica no tiene la capacidad de flexionar repetitivamente la resistencia a la fatiga es menor o nula. Puede ser ocasionado por un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.

Fotografía 4.6. **Fisura Transversal.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 13.

d) Peladura: Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura de la carpeta asfáltica pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y el clima. Esta anomalía es un indicativo que el asfalto se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligante, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de asfalto insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por

deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos.

Fotografía 4.7. **Peladura.**

Fotografía SIECA Manual Centroamérica de Mantenimiento de Carreteras TOMO III. Pag. 22.

4.1.5.5 Resistencia al deslizamiento: es la habilidad de una carpeta asfáltica, particularmente cuando esta mojada, de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua en la superficie del pavimento, conocido como hidroplaneo. Una buena resistencia al deslizamiento lo contribuyen agregados con textura áspera y contenidos adecuados de asfalto. Los contenidos altos de asfalto producen mezclas inestables las cuales tienden a deformarse y exudar, generando así, mayor deslizamiento.

Tabla 4.2. **Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento.**

Tomada de Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Causas	Efectos en la carpeta
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Carpeta asfáltica lisa, posibilidad de hidroplaneo
Agregado canto rodado, textura lisa	Poca resistencia al deslizamiento

4.1.5.6 Impermeabilidad: es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior o a través de él. El contenido de vacíos puede ser una indicación a la susceptibilidad de una mezcla compactada al paso del agua y el aire.

Tabla 4.3 **Causas y efectos de mezcla demasiado permeable.**

Tomada de Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Causas	Efectos en la carpeta
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en la carpeta asfáltica, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en la carpeta asfáltica, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

4.1.5.7 Trabajabilidad: es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. El asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad.

Tabla 4.4. **Causas y efectos de la mala trabajabilidad.**

Tomada de Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Causas	Efectos en la carpeta
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de compactar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable

Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

4.2 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

4.2.1 METODOLOGÍA

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.

4.2.2 PROPOSITO DE LA METODOLOGIA

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vació que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 pulg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

4.2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL

El método Marshall usa muestras de ensayo (probetas) de 64 mm (2.5 pulg) de espesor por 102 mm (4 pulg) de diámetro. Una serie de muestras de ensayo, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento especifico para calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica. Los dos aspectos principales del método de diseño son: análisis de densidad-vacíos y el ensayo de estabilidad y flujo de los especimenes compactados.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La **Tabla 4.5** presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D 3515.

4.2.4 ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. El rango de vacíos de aire es de 3% al 5%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (**Tabla 4.6**). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Tabla 4.5. **Graduaciones Propuestas para Mezclas Cerradas (ASTM D 3515)**

Aberturas de los tamices	Mezclas Cerradas								
	Tamaño Máximo Nominal del Agregado								
	2 pulg (50.0mm)	1 ½ pulg (37.5mm)	1 pulg (25.0mm)	¾ pulg (19.0mm)	½ pulg (12.5mm)	3/8 pulg (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36 mm)	No. 16 (1.18mm)
	Gradaciones para Mezclas de Agregados (Grueso, Fino y Filler)								
2 ½ " (63 mm)	100	---	---	---	---	---	---	---	---
2" (50 mm)	90-100	100	---	---	---	---	---	---	---
1 ½" (37.5 mm)	---	90-100	100	---	---	---	---	---	---
1 " (25.0 mm)	60-80	---	90-100	100	---	---	---	---	---
¾" (19.0 mm)	---	56-80	---	90-100	100	---	---	---	---
½" (12.5 mm)	35-65	---	56-80	---	90-100	100	---	---	---
3/8" (9.5 mm)	---	---	---	---	---	90-100	100	---	---
No. 4 (4.75 mm)	14-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	---	---
No. 8 (2.36 mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	---	100
No. 16 (1.18 mm)	---	---	---	---	---	---	40-80	---	95-100
No. 30 (600µm)	---	---	---	---	---	---	35-65	---	70-95
No. 50 (300 µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	---	45-75
No. 100 (150 µm)	---	---	---	---	---	---	3-20	---	20-40
No. 200 (75 µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	---	9-20
	Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla.								
	2-7	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

Tabla 4.6. **Criterios del Instituto del Asfalto para el Diseño Marshall**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver **Tabla 4.7**					
% VFA	70	80	65	78	65	75

NOTAS

[1]Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60 ^{0}C, se consideraran satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38 ^{0}C, y si se colocan a 100 mm o más por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas mas extremas puede ser necesario usar temperaturas mas bajas de ensayo.

[2] Clasificaciones del Transito

Liviano Condiciones de transito que resultan en un ESAL de diseño < 104

Mediano Condiciones de transito que resultan en un ESAL de diseño entre 104 y 106

Pesado Condiciones de transito que resultan en un ESAL de diseño> 106

[3] Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el transito.

[4] Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.

[5] Cuando se este calculando el porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas de agregado.

[6] El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con bese en el peso específico total ASTM del agregado.

Tabla 4.7. **Porcentaje Mínimo de VMA**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

TAMAÑO MÁXIMO EN MM PORCENTAJE		VMA MÍNIMO, POR CIENTO Vacíos de Diseño, por ciento[3]		
mm	**pulg**	**3.0**	**4.0**	**5.0**
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63.0	2.5	9.0	10.0	11.0

[1] Especificación Normal para Tamaño de Tamices usados en Pruebas AASHTO M 92 (ASTM E 11).
[2] El tamaño máximo nominal de la partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas del 10% del material.
[3] Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están listados.

4.2.5 EVALUACIÓN Y AJUSTES DE UNA MEZCLA DE DISEÑO

Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para diseño de mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los límites establecidos. Las mezclas de prueba iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación del agregado este dentro de los límites especificados puede ser reproducida en una planta mezcladora. Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para corregir una deficiencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación del los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones.

Las curvas granulométricas son de gran ayuda al hacer los ajustes necesarios en los diseños de mezclas. Por ejemplo, las curvas obtenidas de la ecuación de Densidad Máxima de Fuller (**Grafico 4.1**) representan condiciones de densidad máxima y valores mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA). Las mezclas asfálticas que poseen dichas curvas presentan contenidos de vacío que pueden ser demasiado bajos. Generalmente, cualquier desviación de estas curvas resulta en densidades menores y valores más altos de VMA. La magnitud del cambio en la densidad y en el VMA depende de la cantidad de ajustes hechos en el contenido de agregado grueso o fino de la mezcla.

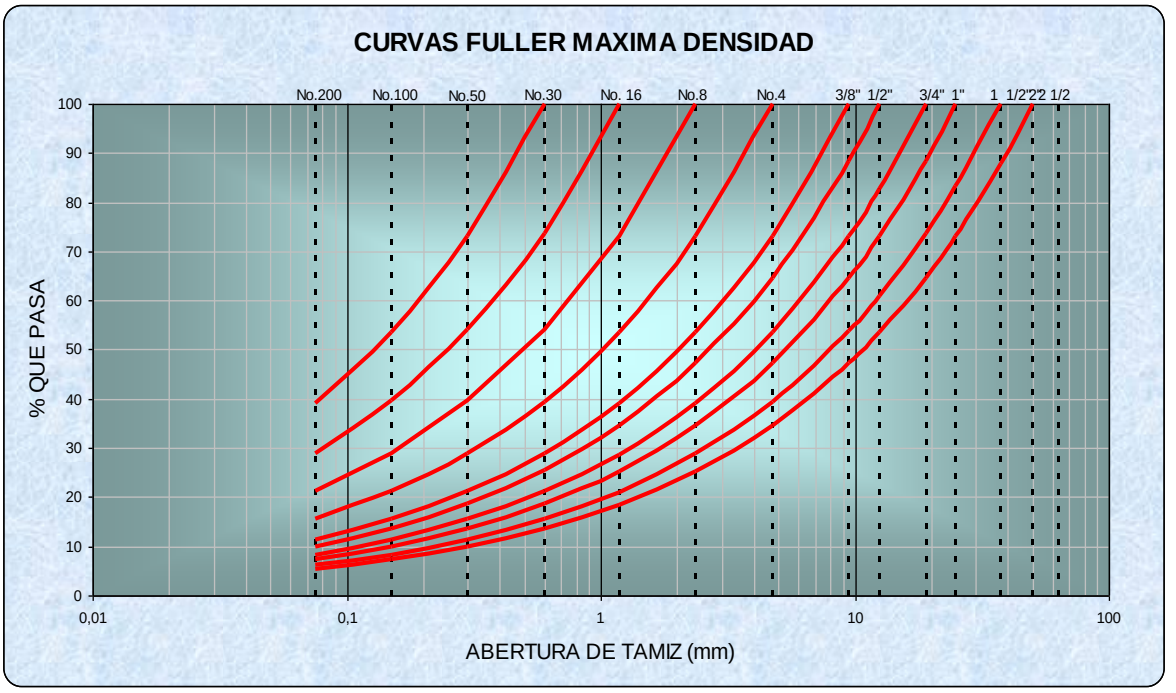


Grafico 4.1. **Curvas Fuller de Máxima Densidad Basadas en un Gráfico Normalizado Semi-log de Granulometría.**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

El **Grafico 4.2** muestra curvas de densidad máxima dibujadas sobre un gráfico de granulometría de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) (USA) (basada en una escala donde las aberturas de los tamices se elevan a una potencia de 0.45).

Muchos diseñadores encuentran conveniente la gráfica del FHWA para hacer ajustes en la granulometría del agregado. Las curvas en la gráfica del FHWA pueden hallarse usando la ecuación de densidad máxima de Fuller, o dibujando una línea recta desde el origen, en la parte inferior izquierda de la gráfica, hasta el tamaño máximo nominal de partícula deseado, en la parte superior. Las granulometrías que se acercan a las líneas rectas tienen, generalmente, valores bajos de VMA, y deben ser ajustadas alejándolas de estas líneas. Dichos ajustes aumentan los valores de VMA, permitiendo así el uso de suficiente asfalto para poder obtener máxima durabilidad sin causar exudación en la mezcla.

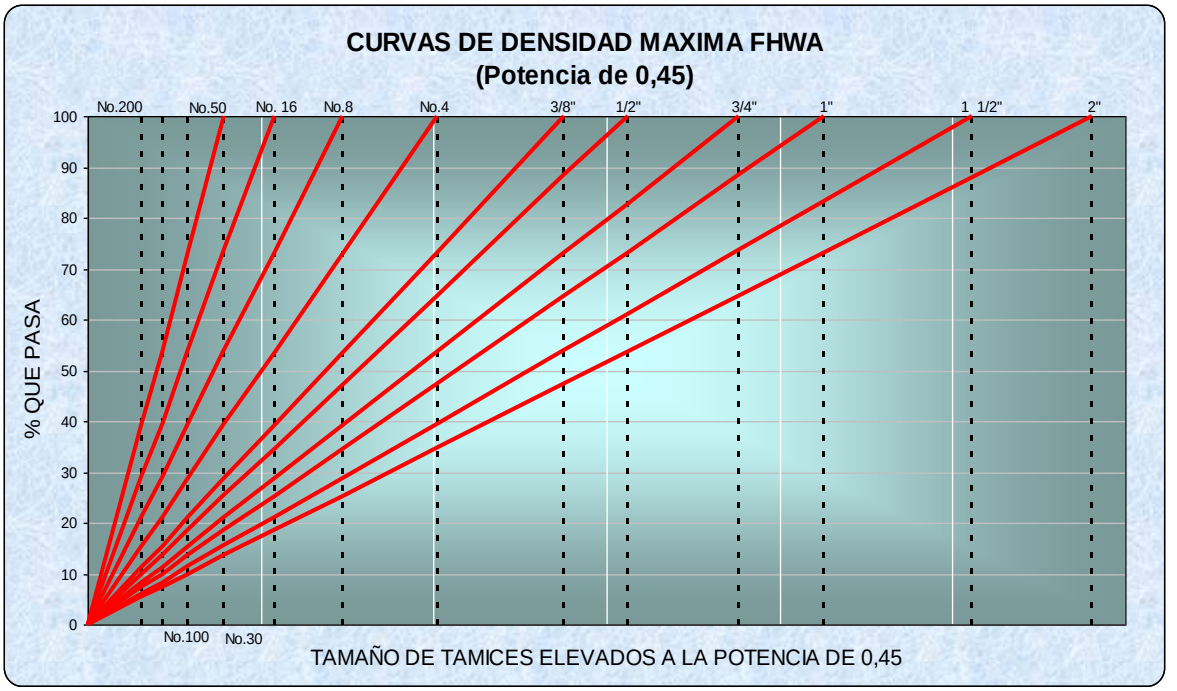


Grafico 4.2. **Curvas de Densidad Máxima Basadas en un Gráfico FHWA (potencia de 0.45) de Granulometría.**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

4.2.5.1 Lineamientos Generales para Ajustar las Mezclas de Prueba.

4.2.5.1.1 Bajo contenido de vacíos y estabilidad baja

Los vacíos pueden incrementarse en diferentes formas. Como un acercamiento general para lograr vacíos altos en el agregado mineral (en consecuencia proveer de suficientes espacios, para una adecuada cantidad de asfalto y vacíos de aire), la graduación del agregado debe ajustarse mediante la adición de más agregado grueso o fino. Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para remplazar el absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado VMA. Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tender a bajar la durabilidad del pavimento. Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse. Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla No. 200. Con la incorporación de arena procesada, el contenido de vacíos puede mejorarse sin sacrificar la estabilidad de la mezcla.

4.2.5.1.2 Bajo contenido de vacíos y estabilidad satisfactoria

Bajos contenidos de vacíos pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional. Por su parte, insuficientes vacíos pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una degradación de agregado pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, mezclas con vacíos bajos tendrán que ajustarse por uno de los métodos dados, en la sección 4.2.3.1 sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

4.2.5.1.3 Contenido satisfactorio de vacíos y estabilidad baja

La baja estabilidad cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar algunas deficiencias en el agregado. Se deberán tomar consideraciones para mejorar la forma de la partícula de los agregados utilizando material producto de trituración o incrementando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla o posiblemente aumentando el tamaño máximo del agregado. Partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas, presentan más estabilidad cuando se mantiene o incrementa el volumen de vacíos.

4.2.5.1.4 Contenido alto de vacíos y estabilidad satisfactoria

Altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través de la mezcla asfáltica pueden ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado. Aun cuando la estabilidad es satisfactoria, se deberán realizar ajustes para reducir los vacíos. Pequeñas reducciones se lograrán mediante la adición de polvo mineral a la mezcla. Podría ser necesario seleccionar o combinar agregados para lograr una graduación, la cual deberá estar cerca de la curva de máxima densidad.

4.2.5.1.5 Vacíos altos y estabilidad baja

Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales, conforme en 4.2.5.1.1 y 4.2.5.1.2.

4.2.6 ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA.

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

4.2.6.1 Determinación de la gravedad específica bulk

El ensayo de gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas utilizando especimenes saturados superficialmente secos puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Este ensayo se desarrolla de acuerdo con la norma AASHTO T 166-05 (Ensayo No. 24), para la gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas usando especimenes cubiertos con parafina la norma AASHTO T 275 es aplicada. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma AASHTO T 166-05, en caso contrario, se recurre a la norma AASHTO T 275.

4.2.6.2 Ensayo de estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad esta dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

Sumergir el espécimen en un baño María a 60 ºC ± 1 ºC (140 ºF ± 1.8 ºF) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Remueva el espécimen de ensayo del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocará la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga. Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una velocidad constante de 50.8 mm/min (2 pulg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que el ensayo de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de

flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm (1/100 “) será el valor del flujo Marshall.

4.2.6.3 Análisis de densidad y vacíos

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especimenes de prueba. Resulta conveniente determinar la gravedad específica teórica máxima (AASHTO T 209) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente aquellos que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores. Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (Va); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

4.3 DOSIFICACION DE AGREGADOS

4.3.1 DOSIFICACIÓN.

La dosificación de agregados tiene por objeto lograr una mezcla cuya gradación se encuentre dentro de los límites recomendados en una especificación determinada, se cuenta con procedimientos analíticos y gráficos; dentro de estos el método de prueba y error es el más utilizado, ya que con la ayuda de programas de computación como Excel es muy fácil elaborar tablas de cálculos y establecer una combinación de varios agregados, por su puesto se debe tener la granulometría de cada agregado a ser combinado. Estos métodos son descritos a continuación acompañados de ejemplos para hacer más fácil su comprensión.

4.3.2 METODO ANALITICO.

4.3.2.1 Dosificación para Dos Agregados

La formula general básica para la combinación de agregados, sin importar el número de agregados o el método utilizado para establecer las proporciones, es la siguiente:

$$P = G \times a + F \times b + M \times c.....etc, \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde:

P = es el porcentaje de material que pasa un tamiz dado para la combinación de agregados, G, F, M, etc…

G, F, M, etc…= porcentaje de material que pasa un tamiz dado para los agregados G,F,M, etc…

a, b, c, etc…= proporciones de agregados G, F, M, etc. Usadas en la combinación y cuyo total es 1.

El proceso de dosificación resulta relativamente simple cuando se trata de la mezcla de dos agregados; tal es el caso uno grueso y por consiguiente el otro fino, identificados como G y F respectivamente. Una primera aproximación se obtiene al calcular el porcentaje que se requiere del material fino (F) de forma tal que se cumpla con la media de la especificación para el tamiz No. 200.

Por lo tanto la Ecuación para dos agregados es:

$$G \times a + F \times b = P \qquad \text{Ec. 2}$$

Debido a que:

$$a + b = 1 \qquad \text{Ec. 3}$$

Sustituyendo y despejando b tenemos:

$$b = \frac{P - G}{F - G} \qquad \text{Ec. 4}$$

También tenemos para a:

$$a = \frac{P - F}{G - F} \qquad \text{Ec. 5}$$

Ejemplo 4.1

Tabla 4.8. **Especificaciones y granulometría de los dos agregados a ser combinados**

Tamiz	% Pasa							
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	16 / 8	10 / 4
Media de la Especificación	100	90	80	60	42,5	23,5	12	7
Agregado grueso G	100	87	75	58	35	17	8	2
Arena Fina F	100	100	100	100	100	80	53	40

Si a = Cantidad de Material G requerido en la mezcla.

b = Cantidad del material F requerido en la mezcla.

Despejando Ec. 3 se tiene que:

$$a = 1 - b \qquad \text{Ec. 6}$$

Sí: **P** = Media de la especificación para el tamiz designado.

G = Porcentaje que pasa el tamiz designado del material Grueso

F = Porcentaje que pasa el tamiz designado del material Fino

Se debe cumplir la Ec. 2:

$$G \times a + F \times b = P$$

Tomando el tamiz No. 200: P= 7, G= 2 y F= 40

Por lo tanto, utilizando la Ec. 4 tenemos:

$$b = \frac{P - G}{F - G}$$

$$b = \frac{7 - 2}{40 - 2}$$

$$b = 0.1315 \approx 0.132$$

Sustituyendo b en Ec. 6 tenemos:

$$a = 0.868$$

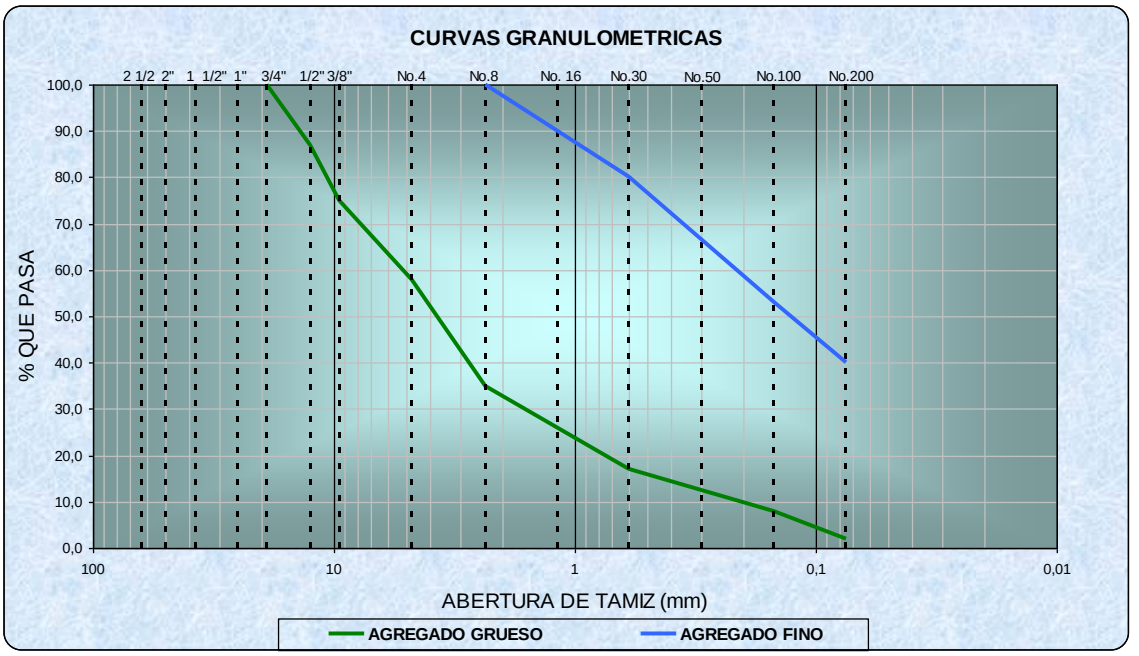


Grafico 4.3. **Curva granulométrica agregado Grueso y Fino.**

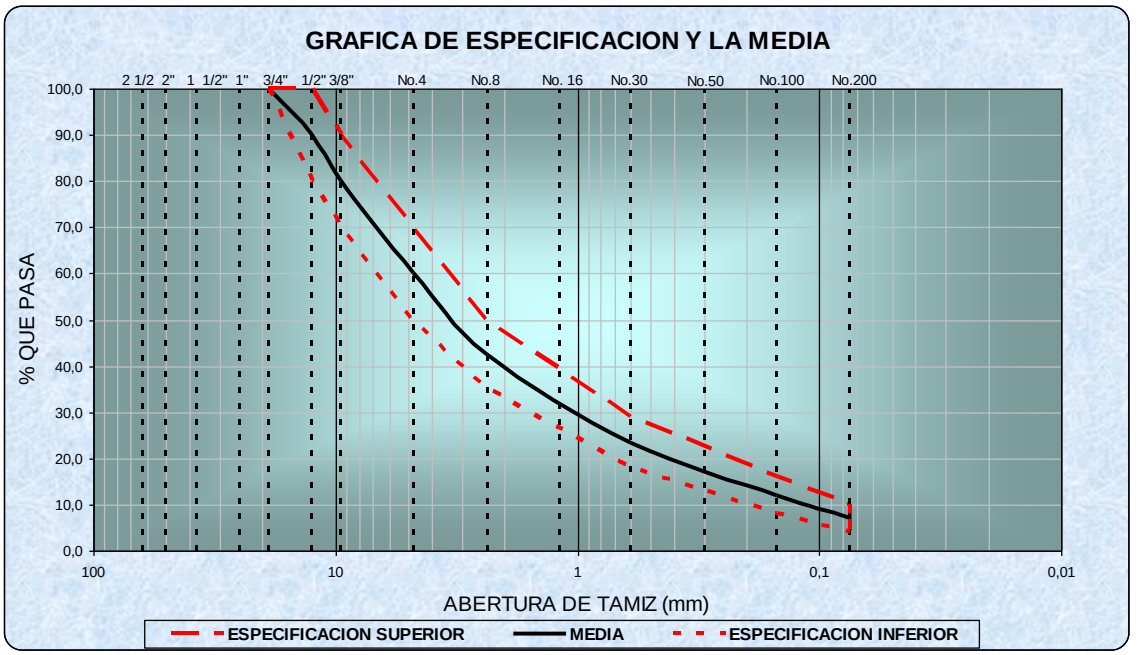


Grafico 4.4. **Grafica de la Especificación y la Media.**

La graduación final de la mezcla con estas dosificaciones será:

Tabla 4.9. **Especificaciones y granulometría para los tres agregados a ser combinados**

Tamiz	% Pasa							
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	16 / 8	10 / 4
Media de la Especificación	100	90	80	60	42.5	23.5	12	7
Agregado G 86.8%	86.8	75.5	65.1	50.3	30.4	14.8	6.9	1.7
Arena Fina F 13.2%	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	10.6	7.0	5.3
Mezcla	100	88.7	78.3	63.5	43.6	25.4	13.9	7.0

Como se puede apreciar los resultados obtenidos se ajustan a los requerimientos de la especificación y por lo tanto se puede adoptar esta dosificación procediendo a graficar la mezcla Ver **Grafico 4.5.**

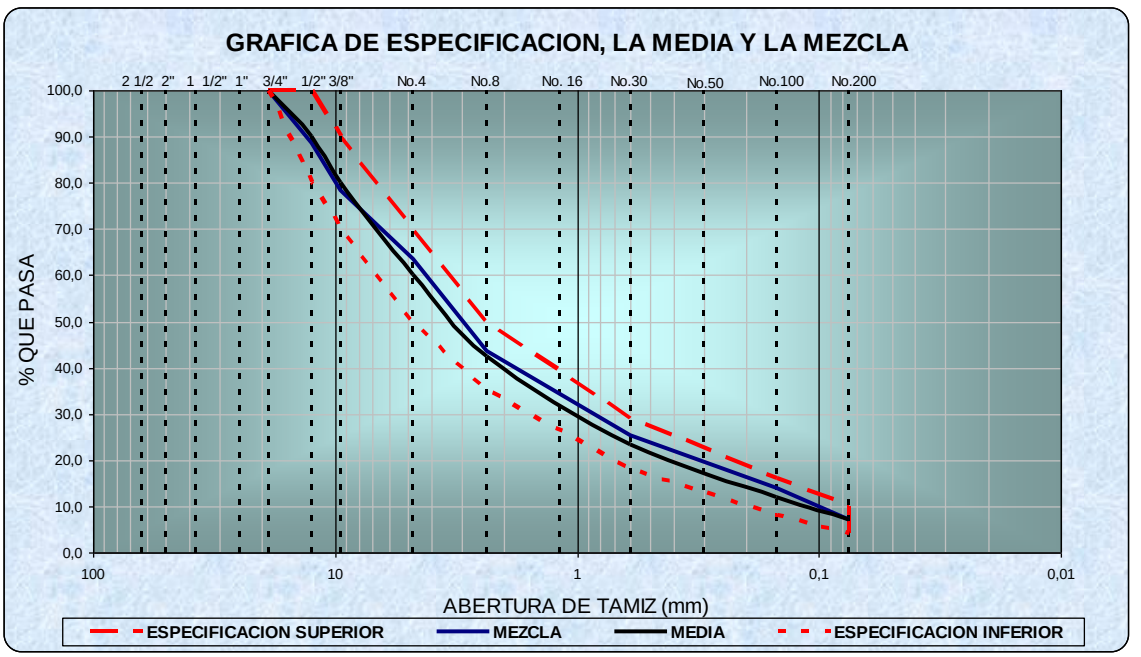


Grafico 4.5. **Grafica de Especificación, Promedio y Mezcla**

4.3.2.2 Dosificación para tres agregados

Ejemplo 4.2

Se van a mezclar acopios de agregado grueso, fino y filler para cumplir con los requerimientos de gradación que se indican en la **Tabla 4.10.**

Tabla4.10. **Especificaciones y granulometría de los tres agregados a ser combinados**

Tamiz	% Pasa							
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	16 / 8	10 / 4
Grueso G	100	85	58	29	2.4	0.5	0.3	0.1
Fino F	100	100	100	100	95	47	23	8.8
Filler M	100	100	100	100	100	100	95	74

La revisión de las gradaciones de cada uno de los materiales indica claramente una separación entre el agregado grueso y el fino a partir del tamiz N. 8, siendo la mayor proporción de la fracción inferior a este tamiz, aportada por el agregado fino.

De acuerdo con lo anterior un primer ajuste de la mezcla se puede lograr estimando las proporciones de agregado grueso y fino requeridas para obtener 42,5% de material inferior al Tamiz N. 8 (% Pasa – media de la especificación).

El porcentaje (a) de agregado grueso (G) para producir la cantidad deseada que pase un tamiz específico (en este caso el tamiz N. 8) puede calcularse de manera similar al tratamiento que se dio en el **Ejemplo 4.1.** Esta expresión es aplicable únicamente a la mezcla de 2 materiales.

En este caso, nuevamente:

G = Agregado grueso que pasa el tamiz designado, en %

F = Agregado fino que pasa el tamiz designado, en %

a = Cantidad de Material G requerido en la mezcla, en %

b = Cantidad del material F requerido en la mezcla, en %

P = Valor deseado que pasa el tamiz designado, (Media de la especificación), en %

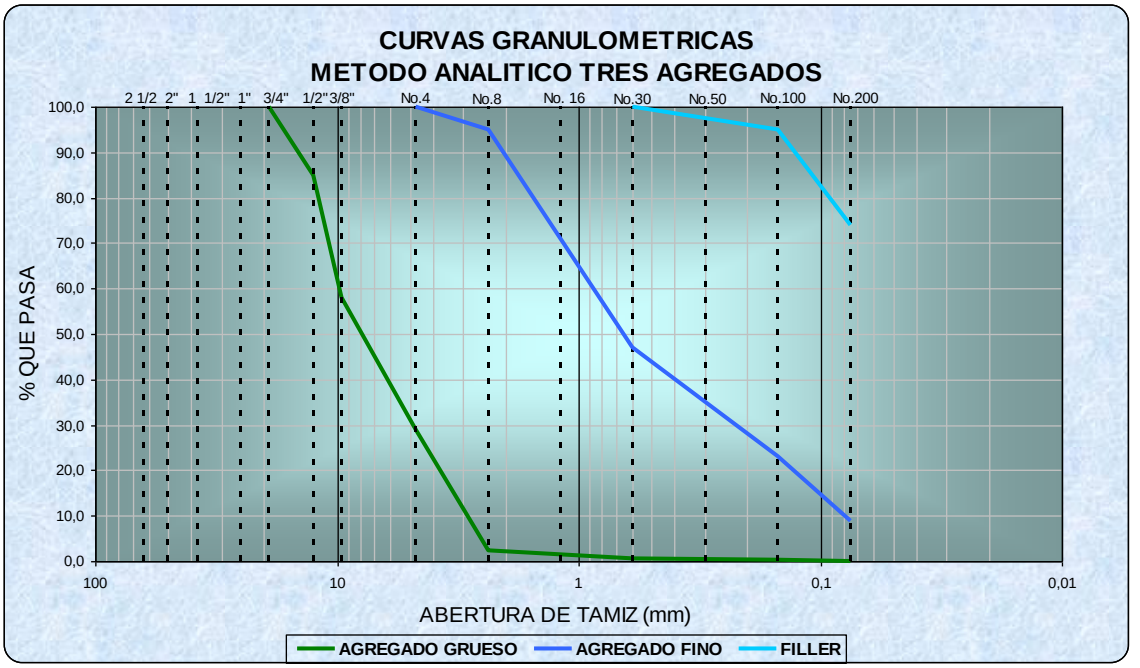


Grafico 4.6. **Curva granulométrica agregado Grueso, Medio y Fino.**

Por lo tanto, utilizando la Ec. 5 tenemos para la No. 8:

$$a = \frac{P - F}{G - F}$$

$$a = \frac{42.5 - 95.0}{2.4 - 95}$$

$$a = 0.566 \approx 0.57$$

Aplicando la Ecuación Ec. 2 para tres agregados tenemos:

$$G \times a + F \times b + M \times c = P \qquad \text{Ec. 7}$$

Ampliando Ec. 3 para tres agregados tenemos:

$$a + b + c = 1 \qquad \text{Ec. 8}$$

Despejando Ec. 3 obtenemos:

$$b = 1 - a - c$$

$$b = 1 - 0.566 - c$$

$$b = 0.434 - c \qquad \text{Ec. 9}$$

Sustituyendo en Ec. 7, analizando el tamiz No. 200:

$$G \times 0.566 + F \times b + M \times c = P$$

$$0.1 \times 0.566 + 8.8 \times (0.434 - c) + 74 \times c = 7$$

$$c = 0.0479 \approx 0.04$$

Sustituyendo en Ec. 9:

$$b = 0.434 - c$$

$$b = 0.434 - 0.04$$

$$b = 0.394 \approx 0.39$$

La comprobación de esta dosificación se muestra en la siguiente tabla.

Como se puede apreciar los resultados obtenidos en la **Tabla 4.11** se ajustan a los requerimientos de la especificación y por lo tanto se puede adoptar esta dosificación.

Tabla4.11. **Resultados de la combinación de los tres agregados**

Tamiz	% Pasa							
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	16 / 8	10 / 4
Media de la Especificación	100	90	80	60	42.5	23.5	12	7
Agregado G 57%	57	48.4	33.1	16.5	1.4	0.3	0.2	0.1
Fino F 39%	39.0	39.0	39.0	39.0	37.1	18.3	9.0	3.4
Filler M 4%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.8	3.0
Mezcla	100	91.4	76.1	59.5	42.5	22.6	13.0	6.5

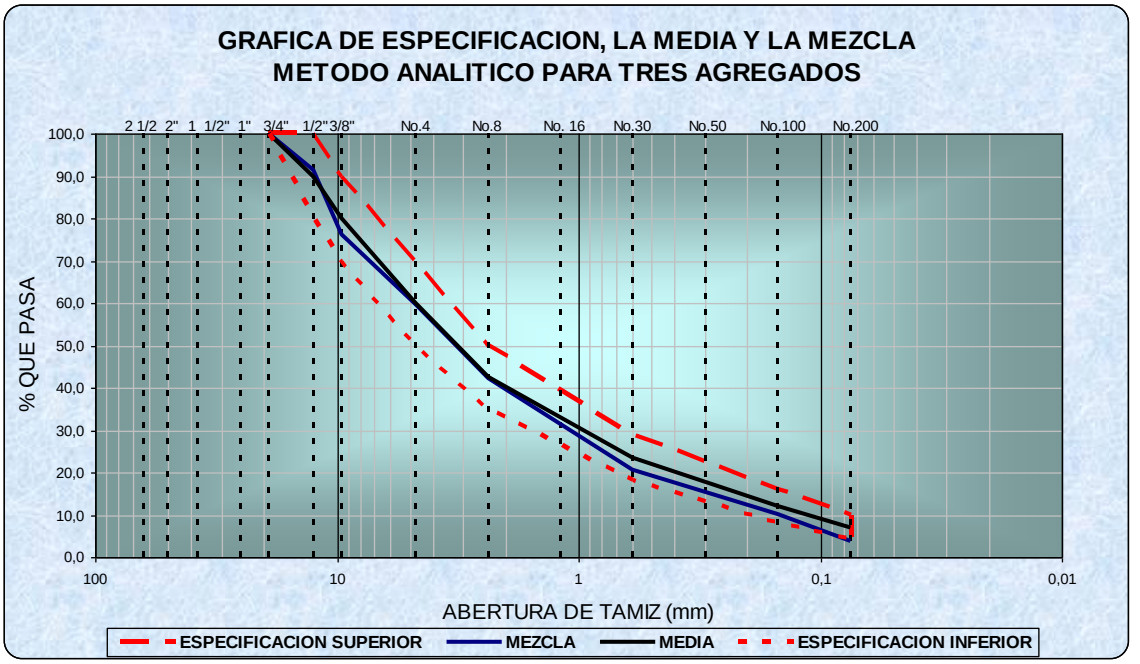


Grafico 4.7. **Grafica de Especificación, Promedio y Mezcla.**

4.3.3 METODO GRAFICO

4.3.3.1 Dosificación para dos agregados

Ejemplo 4.3

Procedimiento:

a) Para el agregado **G** graficar en la escala vertical de la derecha los porcentajes que pasan.

b) Para el agregado **F** graficar en la escala vertical de la izquierda los porcentajes que pasan.

c) Conectar los puntos comunes al mismo tamaño con líneas rectas e identificarlas.

d) Para un tamaño especifico, marcar los puntos de la especificación. Observar que para el tamaño de 9.5 mm (3/8") hay dos puntos marcados sobre la línea que corresponden al 90 y 70 de la Especificación.

e) La porción de la línea entre los dos puntos representa las porciones de agregado G y F.

f) Trazar dos líneas punteadas verticalmente en los límites de la especificación que se encuentre dentro del agregado G y agregado F. Estos limites son el tamiz No. 30 (0.60 mm) y el tamiz No. 200 (0.075 mm), llamados valores críticos o de control.

Tabla4.12 **Especificaciones y granulometría para combinación de dos agregados por el método grafico**

Tamiz	% Pasa								
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 50	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	23 / 13	16 / 8	10 / 4
Media de la Especificación	100	90	80	60	42.5	23.5	18	12	7
Agregado G	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Arena Fina F	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

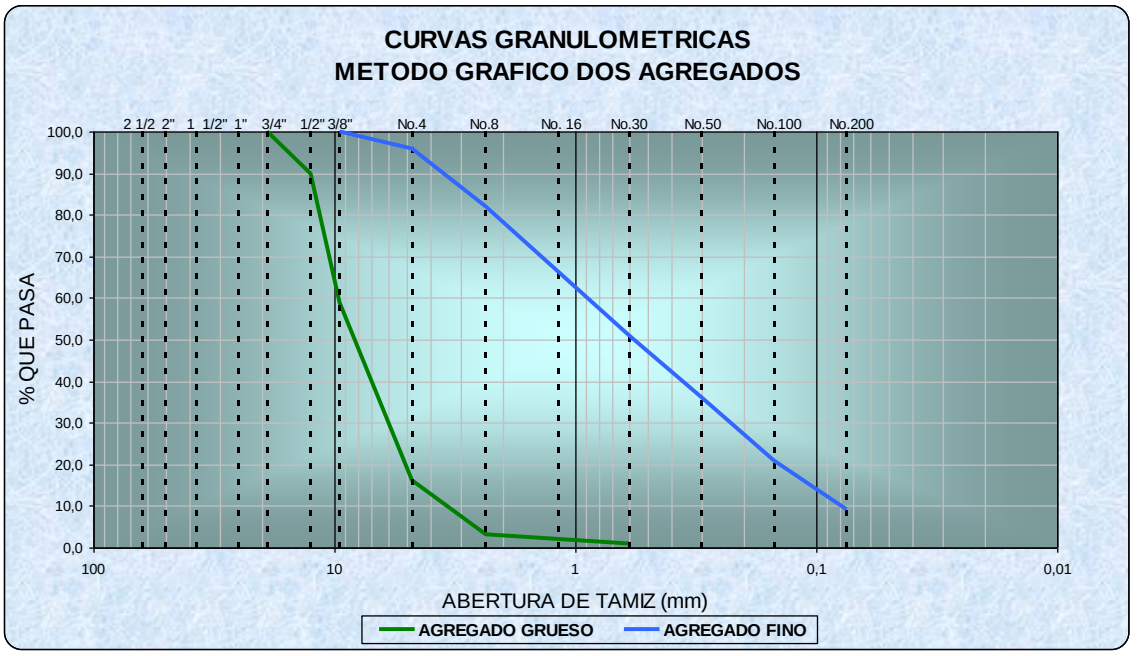


Grafico 4.8. **Curva granulométrica agregado Grueso y Fino.**

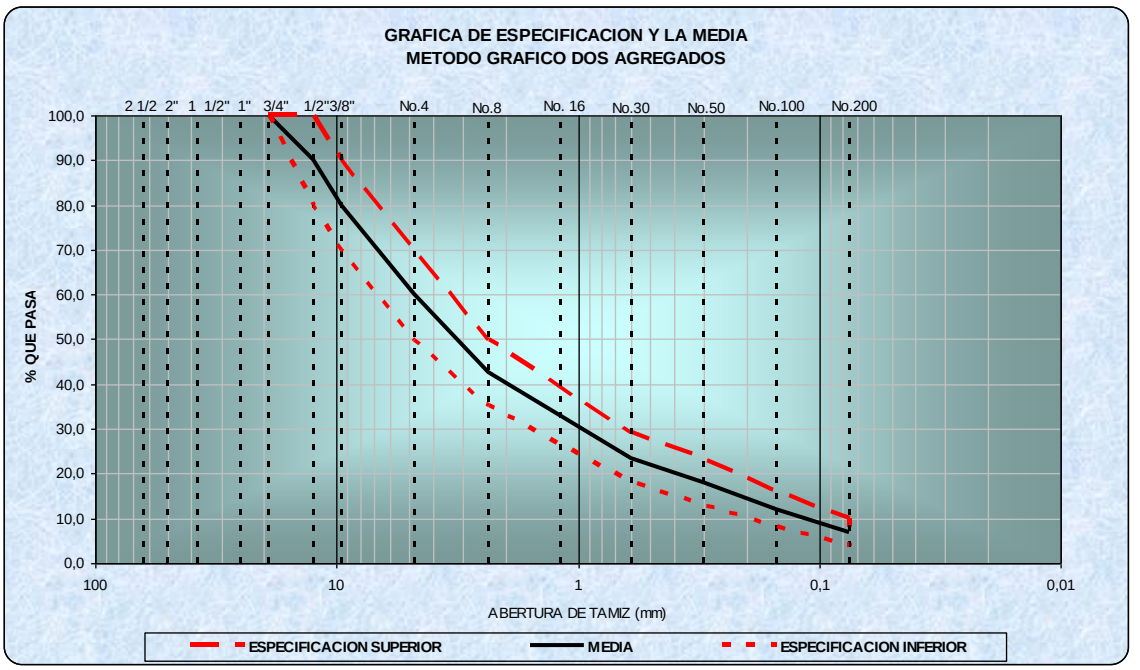


Grafico 4.9. **Grafica de la Especificación y la Media.**

g) Escoger el punto medio de la porción de la escala horizontal para combinar los agregados, tenemos entonces 48% de agregado G y 52% de agregado F.

h) Analizando las líneas verticales (limite tamiz No. 30 y limite No. 200) podemos concluir que en el agregado **G** los limites son 43% y 54% y en el agregado F los limites son 46% y 57%; cumplirán con la especificación una vez que se combinen.

Tabla4.13 **Combinación de agregados**

Tamiz	% Pasa								
	3/4"	1/2"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 50	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	23 / 13	16 / 8	10 / 4
Media de la Especificación	100	90	80	60	42.5	23.5	18	12	7
Agregado G	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Arena Fina F	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2
Mezcla	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

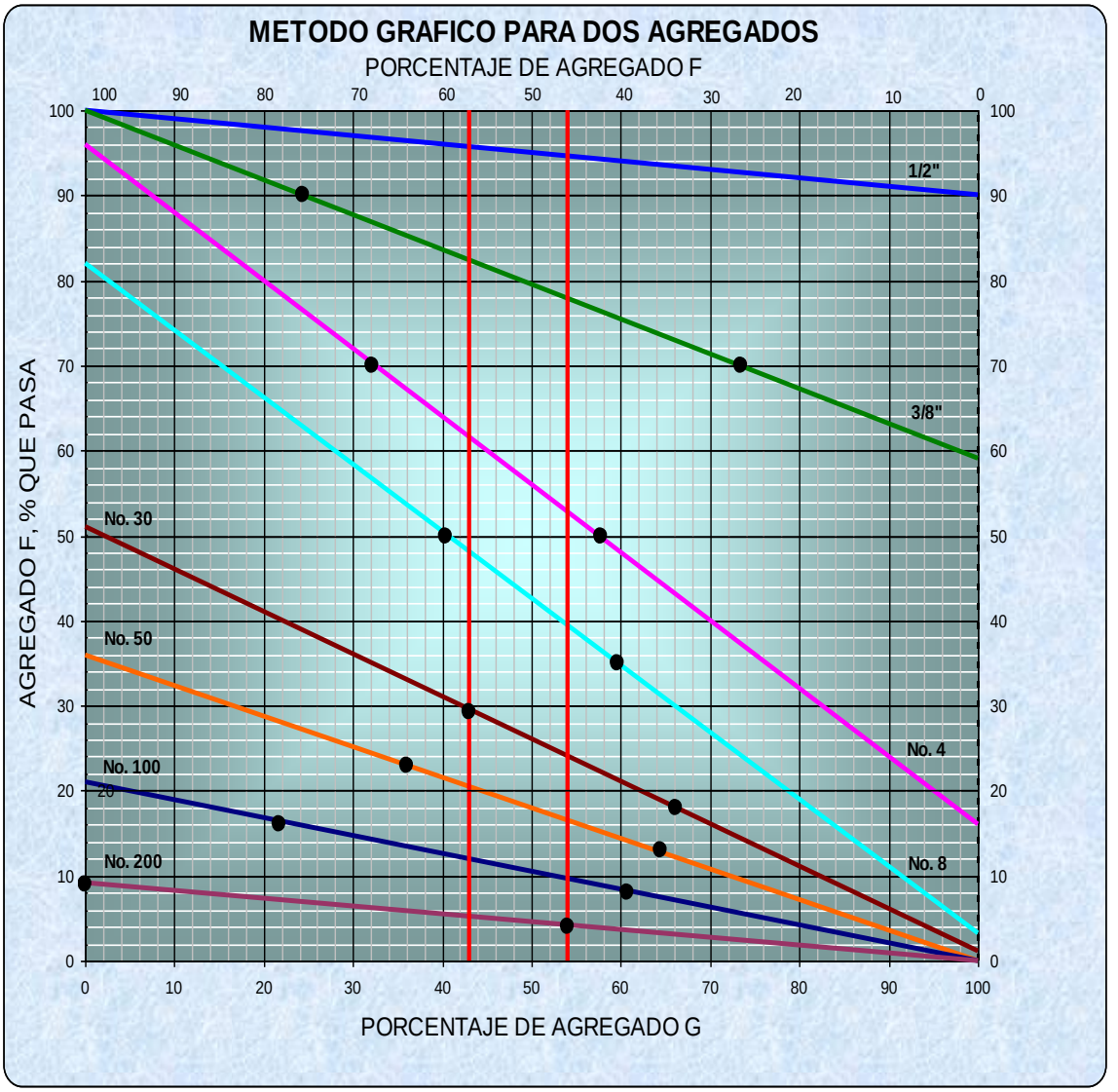


Grafico 4.10. **Método Gráfico para dos Agregados.**

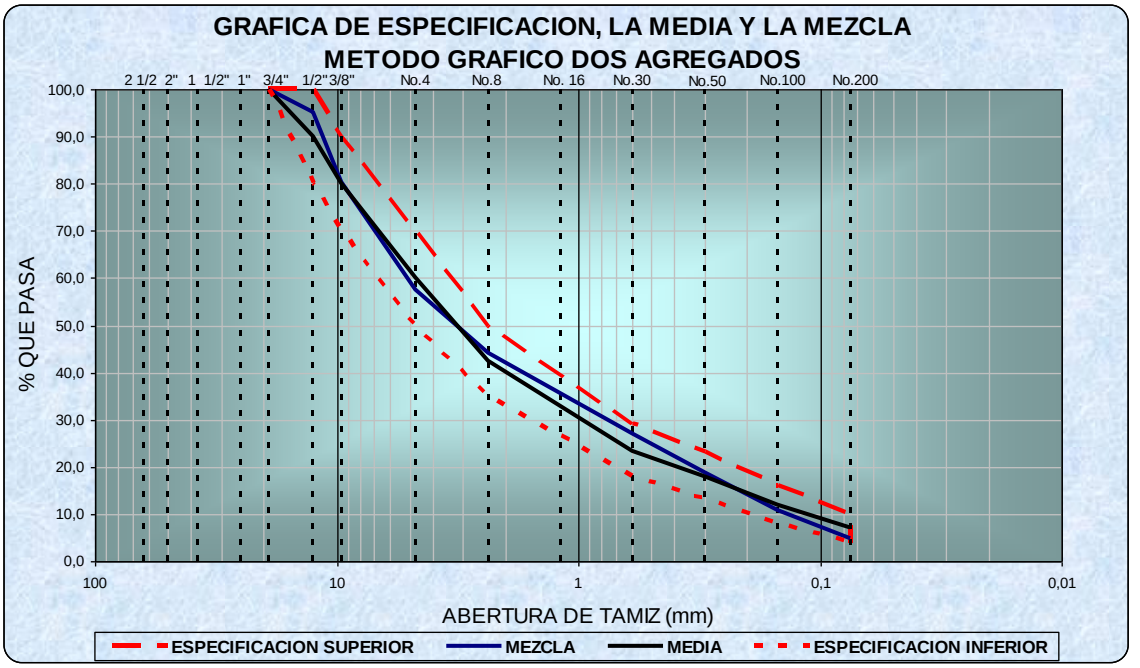


Grafico 4.11. **Grafica de la Especif., la Media y la Mezcla.**

4.3.3.2 Dosificación para tres agregados

El procedimiento general para mezclar una arena fina con un agregado fue expuesto en el ejemplo 4.1. El método para mezclar tres agregados teniendo una separación marcada en sus gradaciones se describió en el Ejemplo 4.2. Sin embargo en el caso de disponer de tres agregados cuyas gradaciones se traslapan, las proporciones de la dosificación se pueden determinar más convenientemente usando un método gráfico.

En el siguiente ejemplo, se dispone de tres materiales; uno grueso, fino y filler, cuyas gradaciones junto con la especificación se muestran en la **Tabla 4.14**. Se desea combinar estos agregados para obtener una mezcla que mejor se ajuste dentro de los límites de la especificación.

Ejemplo 4.4

Tabla 4.14 **Especificaciones y granulometrías para ser combinados por el método gráfico**

Tamiz	% Pasa								
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 50	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	23/13	16/8	10/4
Media Espec.	100	90	80	60	42,5	23,5	18	12	7
Agregado G	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Fino F	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2
Filler M	100	100	100	100	100	100	98	93	82

El método para resolver este problema se muestra en la **Grafica 4.12** y los pasos se enuncian a continuación:

a) Calcule el % de material retenido en el tamiz No. 8.

b) Calcule el % de material que pasa la No. 8, pero que se retiene en el tamiz No. 200.

c) El % de material que pasa el tamiz No. 200

d) Obtenido los cálculos anteriores procedemos a graficar los puntos de la tabla 4.15.

e) La grafica consiste en un triangulo formado por: en la horizontal graficaremos los porcentajes retenidos en el tamiz No. 8; a la izquierda del triangulo graficaremos los porcentajes que pasan la No. 8, pero que se retienen en la No. 200 y finalmente a la derecha graficaremos el porcentaje que pasa el tamiz No. 200.

Tabla4.15. **Puntos a ser graficados**

Tamiz	RETENIDO No.8	PASA No. 8 RETENIDO No. 200	PASA No. 200
Especificación	65 / 50		10 / 4
Media de la Espec.	57.5		7
Agregado G	96.8	3.2	0
Fino F	18	72.8	9.2
Filler M	0	18	82

f) Graficamos la especificación con los pares ordenados siguientes: 65, 10; 64,4; 50,10 y 50,4.

g) Uniendo lo pares ordenados obtenemos un área trapezoidal.

h) El punto S llamado punto medio de la especificación se puede encontrar calculando el promedio de la especificación, quedando un par ordenado 57.5, 7. También lo obtenemos por medio de la grafica cruzando los vértices y donde se crucen es el punto medio S.

i) Graficamos el punto M, par ordenado 18,82 (18% pasa No. 8 pero retenido en la No. 200(lado izquierdo del triangulo), 82% pasa la No. 200 (lado derecho del triangulo)).

j) Graficando el punto F, par ordenado 18,9.2 (18% pasa No. 8 (horizontal del triangulo), 9.2% pasa la No. 200 (lado derecho del triangulo)).

k) Unimos lo puntos anteriormente graficados. (línea FM).

l) Graficamos el punto G, par ordenado 96.8, 0 (96.8% pasa No. 8 (horizontal del triangulo), 0.0% pasa la No. 200 (lado derecho del triangulo)).

m) Dibuje una línea recta desde el punto A pasando por el punto S, hasta interceptar la línea FM. Al punto donde intercepta lo llamaremos F´.

n) Mida o calcule los segmentos siguientes: GS, SF´, FF´ y F´M.

o) Determine primero la proporción para el agregado G y luego la de los otros dos agregados.

p) Utilizando las proporciones anteriores determine las proporciones de cada agregado y verifique que cumpla dentro de la especificación acercándose a la media.

Del **Grafico 4.12** obtenemos:

Las líneas GS= 39, SF'= 42 FF'=5 Y F'M=68

$$a = \frac{SF'}{SF'+GS} = \frac{42}{42+39} = 0.52$$

De ecuación 8 tenemos:

$$a + b + c = 1 \qquad \text{Ec. 8}$$

$$b + c = 1 - a$$

$$b + c = 1 - 0.52$$

$$b + c = 0.48$$

$$b = \frac{F'M(b+c)}{F'M + FF'} = \frac{68(0.48)}{68+5} = 0.45$$

$$c = 0.48 - b = 0.48 - 0.345 = 0.03$$

$$c = 0.03$$

Comprobación de Ec. 8

$$0.52 + 0.45 + 0.03 = 1$$

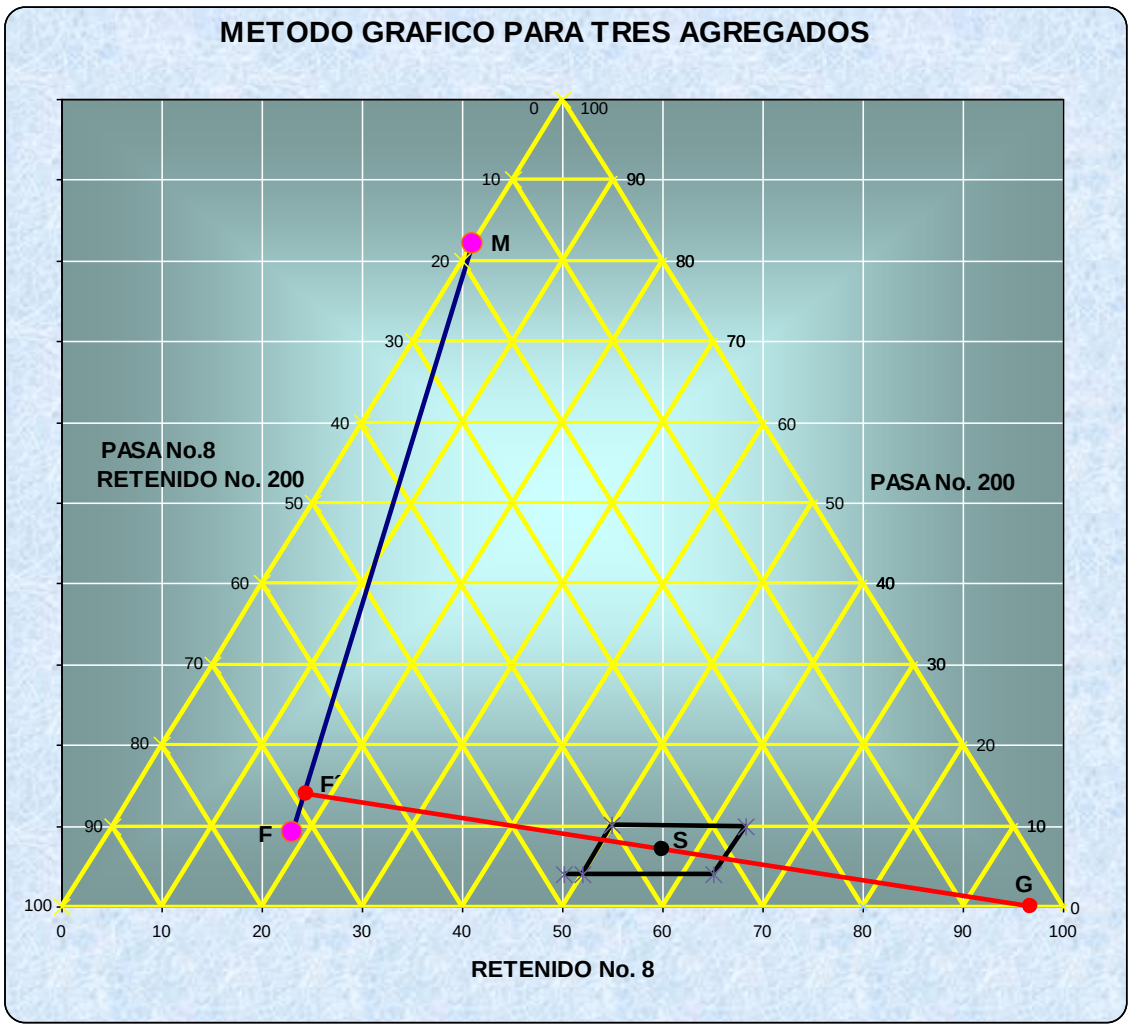


Grafico 4.12. **Método Grafico para Tres Agregados.**

Tomada de Asphalt Technology and Construction, Instructor's Guide, ES-1, Asphalt Institute

Tabla 4.16 **Resultados del método de combinación de agregados**

Tamiz	% Pasa								
	¾"	½"	3/8"	N. 4	N. 8	N. 30	N. 50	N. 100	N. 200
Especificación	100	100 / 80	90 / 70	70 / 50	50 / 35	29 / 18	23/13	16/8	10/4
Media de la Especificación	100	90	80	60	42,5	23,5	18	12	7
Agregado G 52%	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Fino F 45%	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2
Filler M 3%	100	100	100	100	100	100	98	93	82
Mezcla	100	94.8	78.7	54.5	41.6	26.6	19.1	12.2	6.6

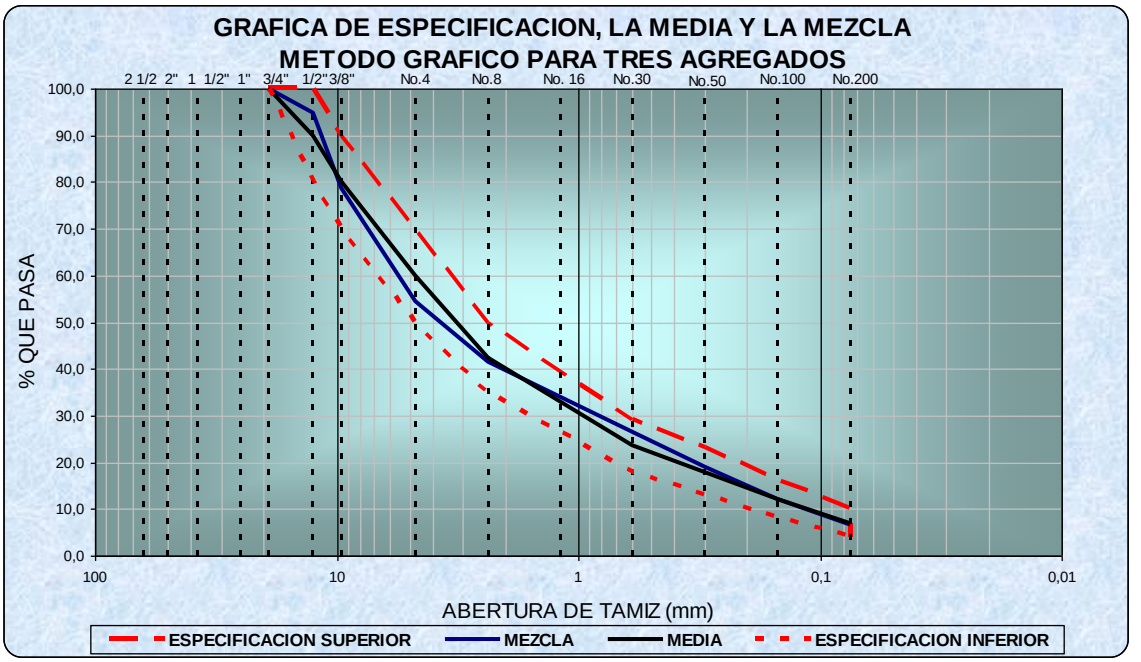


Grafico 4.13 **Grafica de la Especificacion, la Media y la Mezcla.**

4.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO EL METODO MARSHALL.

Una mezcla asfáltica se puede presentar según su tamaño máximo, por ejemplo mezcla de 1 pulg indica que su tamaño máximo es de una pulgada y que dicho material pasará por completo el tamiz de 1 pulg ó según su tamaño máximo nominal, que suele ser la más utilizada; por ejemplo una mezcla con designación de ½ pulg implica que su agregado tiene un tamaño máximo de 3/4 pulg y todo el agregado pasará el tamiz de tres cuartos de pulgadas (ver **Tabla 2.1** en el capítulo 2).

El proceso que se explica seguidamente es para diseñar una mezcla densa.

Un diseño de mezcla asfáltica en caliente es un proceso muy amplio y complementario en el cual intervienen varios factores de estudio, los cuales comprenden: primeramente

- Establecer la designación de la mezcla que se desea diseñar.
- Para nuestro caso es una Mezcla de 1/2" en base al tamaño máximo nominal del agregado.
- Elección de la especificación bajo la cual se regirá la granulometría, ésta dependerá del tamaño máximo nominal. La banda de control puede ser definida por el contratante, el diseñador o ser tomado de las especificaciones vigentes en la región donde se realiza el diseño.
- Estudio de los materiales que conformarán la mezcla, los cuales básicamente son dos: a) Agregados pétreos y b) asfalto; cuando se diseña una mezcla con cemento asfáltico sin ninguna clase de aditivo, a no ser que este sea considerado para el diseño.

a) El estudio de los materiales pétreos comprenderá una serie de ensayos para cada tipo de agregado que se utilice (las especificaciones de la SIECA, exigen no menos de tres agregados acopiados en la planta, cada uno con granulometría distinta), los cuales se detallaron en el capítulo II referente a agregados pétreos, todos los ensayos son muy importantes, pero el que más influye a la hora de realizar el diseño es el ensayo de análisis granulométrico (Ensayo No. 03, Capítulo II), ya que la granulometría que presentan las muestras de los diferentes agregados debe ser la que realmente tiene el

agregado en bruto apilado en la planta, y ésta información es la que se utiliza para establecer una combinación de los diferentes agregados para que estos cumplan con una determinada especificación que está de acuerdo a la designación de la mezcla. Si el resultado del análisis granulométrico de los diferentes agregados ó tan sólo de uno de es erróneo, y no es el que realmente presenta el material en bruto apilado, este resultado influirá grandemente a la hora de realizar el diseño. Por lo general nunca se acierta en el diseño a la primera vez, y por lo tanto, habrá que realizar correcciones las cuales se hacen en base a las dosificaciones de los agregados.

b) Por su parte también al asfalto se le realizan una seria de ensayos, los cuales se detallaron en el capítulo III referente a ligantes asfálticos; un factor muy importante en el asfalto es elaborar su carta de viscosidad-temperatura, ya que de esta se obtiene la temperatura para mezclar en planta y la temperatura para compactar en campo, la carta se puede elaborar realizando el Ensayo No. 20 (Capitulo III) "Práctica para Cartas Viscosidad-Temperatura de Productos de Petróleo Líquido"; por lo general, dicha carta la proporcionan las empresas distribuidoras de asfalto; pero también se puede elaborar por medio de dicho ensayo.

Una vez que se conoce que los agregados cumplen con las especificaciones correspondientes y se tiene la granulometría de cada uno, así como la carta de viscosidad-temperatura del asfalto, se le da seguimiento al proceso de diseño,

- Establecimiento de las proporciones de los diferentes tamaños de agregados que intervendrán en el diseño, realizándose una combinación teórica, siendo esta calculada por un método adecuado de combinación, como los que se abordan en la sección 4.3 o un método por tanteos; y posteriormente la comprobación granulométrica.

Para el diseño que se desarrolló, la combinación teórica de agregados se realizó por tanteos con la ayuda de una hoja de cálculo, dicho procedimiento se explica en la sección 4.4.1.

- Ya establecidas las proporciones de cada agregado y las diferentes dosificaciones de asfalto que se utilizarán se sigue el procedimiento que establece el ensayo No. 22 (Capitulo IV) para iniciar el mezclado en laboratorio considerando las temperaturas de la carta de viscosidad-temperatura del asfalto.

- Después que se elaboran las briquetas se da seguimiento a lo que es esencia el método Marshall, el cual consiste en tres procedimientos: determinación del peso específico total; determinado según ensayo No. 24 (Capítulo IV), medición de la estabilidad y fluencia ;según ensayo No. 22 (Capítulo IV), y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las briquetas (éste análisis es enfocado hacia las cuatro características de la mezcla y su influencia en el comportamiento de la mezcla compactada: Densidad, vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto; explicadas en la sección 4.1.4 de este capítulo).

- Por último y después de ciertas correcciones en las dosificaciones se logra establecer la fórmula de trabajo, la cual contiene las dosificaciones finales de cada agregado y el porcentaje de cemento asfáltico para que la planta reproduzca la mezcla.

El procedimiento completo se explica mejor mediante un ejemplo que se explica a partir de la sección 4.4.1.

4.4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.

Partimos de que ya se tiene la granulometría de cada una de las diferentes fracciones de tamaño de agregado que se utilizarán.

Se busca una combinación de los tres agregados que se utilizarán: Grava ½" – ¼", Agregado Medio ¼" – 0 y Arena, para esto se ha utilizado el programa Excel de Windows mediante la elaboración de una tabla con fórmulas para que realice dichos cálculos de la cual se obtiene los porcentajes para cada uno de los agregados antes mencionados, y considerando que el Tamaño Máximo de agregado que se tiene es de ¾

pulg se utilizará como especificación la banda de control de la granulometría tipo "D" de la SIECA la cual está contemplada en la **Tabla 4.17**.

Para calcular las combinaciones de los agregados y verificar si ésta cae entre los rangos establecidos de una especificación granulométrica, el procedimiento es el siguiente: Se tienen las granulometrías corridas de cada uno de los agregados que conformarán la combinación, luego se procede a asignar un porcentaje a cada agregado, la sumatoria de dichos porcentajes será el 100 por ciento de los agregados; como se muestra en el siguiente ejemplo correspondiente al primer tanteo.

Agregado Grueso ½" – ¼"	40 %
Agregado Medio ¼" – 0	40 %
Arena	20 %
	100 % de la combinación granulométrica.

El porcentaje de cada agregado es multiplicado por su respectiva granulometría luego se obtiene la suma de los tres porcentajes obteniendo así el valor para cada tamiz respectivamente, y éste promedio se verifica si está dentro del rango establecido de cada uno de los tamices según el tipo de granulometría especificada, que para este caso es "D". Si el valor de un tan sólo tamiz no cae dentro del rango establecido por la especificación para dicho tamiz, la combinación granulométrica en los porcentajes de agregados no satisface la especificación, por lo que se deberá buscar otros porcentajes y así sucesivamente hasta encontrar los valores de los porcentajes para cada agregado que satisfaga las especificaciones por completo, o sea para cada tamiz en la especificación.

Tabla 4.17 **Rango de Valores para Graduación de Agregados para Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente.**

Tamiz		Porcentaje de masa pasando, Designación de tamices (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
		Designación de la Graduación					
		A	B	C	D	E	F
37.5 mm	1 ½ pulg.	100					
25 mm	1 pulg.	97-100	100	100			
19 mm	3/4 pulg.	—	97-100	97-100	100	100	
12.5 mm	1/2 pulg.	—	76-88(5)	*(5)	97-100	97-100	
9.5 mm	3/8 pulg.	53-70(6)	—	*(6)	—	*(5)	100
4.75 mm	No. 4	40-52(6)	49-59(7)	*(7)	57-69(6)	*(6)	33-47(6)
2.36 mm	No. 8	25-39(4)	36-45(5)	*(5)	41-49(6)	*(6)	7-13(4)
600 µm	No. 30	12-22(4)	20-28(4)	*(4)	22-30(4)	*(4)	—
300 µm	No. 50	8-16(3)	13-21(3)	*(3)	13-21(3)	*(3)	—
75 µm	No. 200	3-8(2)	3-7(2)	3-8(2)	3-8(2)	3-8(2)	2-4(2)

*El contratante especifica el valor del rango y límites
(±) Desviación permisible

Tomado de Manuel Centroamericano "Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales"

En la **Tabla 4.18** se muestran los resultados en una hoja de cálculo, de una combinación de diferentes porcentajes para cada agregado, entre ellos la combinación que cumple con la especificación granulométrica tipo "D" del manual SIECA.

Ejemplo de cálculos: Primer Tanteo

Tamiz de ¾"
½" – ¼" (40 %): 0.40 x 100 = 40.0
¼" – 0 (40%): 0.40 x 100 = 40.0
Arena (20%): 0.20 x 100 = 20.0
Σ 100.0

Tamiz No. 4
½" – ¼" (40 %): 0.40 x 6.0 = 2.4
¼" – 0 (40%): 0.40 x 92.0 = 36.8
Arena (20%): 0.20 x 99.0 = 19.8
Σ 59.0

Tamiz No. 8
½" – ¼" (40 %): 0.40 x 1.0 = 0.4
¼" – 0 (40%): 0.40 x 55.0 = 22.0
Arena (20%): 0.20 x 90.0 = 18.0
Σ 40.4

Tamiz No. 50
½" – ¼" (40 %): 0.40 x 0.4 = 0.1
¼" – 0 (40%): 0.40 x 19.0 = 7.6
Arena (20%): 0.20 x 31.0 = 6.2
Σ 13.9

Tabla 4.18 **Cálculos de las Combinaciones Granulométricas y la Especificación Granulométrica Tipo "D" de la SIECA.**

Tamaño del tamiz (mm)		19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Designación del Tamiz		3/4	1/2	3/8	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No. 100	No. 200
Especificación SIECA tipo "D"		100	97-100	-	57-69	41-49	-	22-30	13-21	-	3-8
Promedio		**100**	**98.5**	**-**	**63**	**45**	**-**	**26**	**17**	**-**	**5.5**
Granulometrías de los Agregados											
Tipos de agregados		Porcentajes pasantes de cada agregado									
Agregado 1/2"-1/4"		100.0	99.0	77.0	6.0	1.0	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
Agregado 1/4"- 0		100.0	100.0	100.0	92.0	55.0	35.0	25.0	19.0	15.0	12.0
Arena		100.0	100.0	100.0	99.0	90.0	74.0	55.0	31.0	16.0	10.0
Primer Tanteo											
Tipos de agregados	% de cada agregado	Porcentajes pasantes calculados de cada agregado									
½" – ¼"	40	40.0	39.6	30.8	2.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
¼" – 0	40	40.0	40.0	40.0	36.8	22.0	14.0	10.0	7.6	6.0	4.8
Arena	20	20.0	20.0	20.0	19.8	18.0	14.8	11.0	6.2	3.2	2.0
Granulometría Mezclada Σ		**100.0**	**99.6**	**90.8**	**59.0**	**40.4**	**29.0**	**21.0**	**13.9**	**9.3**	**6.9**
Segundo Tanteo											
Tipos de agregados	% de cada agregado	Porcentajes pasantes calculados de cada agregado									
½" – ¼"	40	40.0	39.6	30.8	2.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
¼" – 0	38	100.0	100.0	100.0	91.7	55.2	34.6	25.2	19.1	15.3	12.1
Arena	22	100.0	100.0	100.0	99.3	89.7	73.7	55.1	31.0	15.8	9.6
Granulometría Mezclada Σ		**100.0**	**99.6**	**90.8**	**59.1**	**41.1**	**29.5**	**21.8**	**14.2**	**9.4**	**6.8**
Tercer Tanteo											
Tipos de agregados	% de cada agregado	Porcentajes pasantes calculados de cada agregado									
½" – ¼"	40	40.0	39.6	30.8	2.4	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
¼" – 0	32	32.0	32.0	32.0	29.4	17.6	11.2	8.0	6.1	4.8	3.8
Arena	28	28.0	28.0	28.0	27.7	25.2	20.7	15.4	8.7	4.5	2.8
Granulometría Mezclada Σ		**100.0**	**99.6**	**90.8**	**59.6**	**43.2**	**32.1**	**23.6**	**14.9**	**9.4**	**6.7**

Y así sucesivamente se calculan los valores para cada tamiz y se verifica si cada uno está dentro del rango de la especificación. Lo ideal es que el valor para cada tamiz sea próximo al valor promedio de la especificación de dicho tamiz, recuerde que esta granulometría es teórica y habrá que comprobarla con una combinación real de agregados. Si el valor obtenido para cada tamiz en la combinación teórica es próximo al valor promedio de la especificación, éste valor permitirá una variación amplia dentro de la especificación para cada tamiz, al realizarse una granulometría real a los agregados. La variación puede ser arriba o abajo del promedio de la especificación para cada tamiz, pero siempre dentro del rango de dicha especificación.

Al comparar los rangos de las especificaciones en el primer tanteo nos percatamos de que el valor del tamiz No. 8 que es de 40.4 está fuera del rango de la especificación para ese tamiz el cual es de 41 – 49, todos los demás valores están entre el rango de las especificaciones; pero como el tamiz No. 8 NO cumple la especificación granulométrica se rechaza la combinación de agregados en las proporciones de ½" – ¼" (40 %), ¼" – 0 (40%) y Arena (20%); se busca otra combinación, en el segundo tanteo la malla No. 8 y No. 30 no cumplen con la especificación, se busca otra combinación hasta que todos los valores calculados para cada tamiz cumplan con la especificación y éstos son los porcentajes para la dosificación de los agregados. Después de una serie de pruebas se encontró que los porcentajes que cumplen con las especificaciones son los encontrados en el tercer tanteo de la **Tabla 4.18**.

Agregado Grueso ½" – ¼"	40 %
Agregado Medio ¼" – 0	32 %
Arena	28 %
	100 % de la combinación granulométrica.

Con dichos porcentajes se procede a realizar una combinación real (comprobación granulométrica) de los tres agregados y luego en el laboratorio se desarrolla el ensayo de granulometría para verificar si la granulometría se reproduce, éste es un ensayo verdaderamente importante ya que es el que indica si la granulometría se puede producir al combinar los tres agregados en los porcentajes establecidos, si no se cumple la granulometría hay que buscar otros porcentajes de agregados que sí la cumplan.

4.4.2 COMPROBACIÓN GRANULOMÉTRICA

Cuando se tienen establecidos los porcentajes para cada uno de los agregados el procedimiento sigue con una comprobación granulométrica que se puede decir que es la combinación real, y es simplemente la verificación que indica que se puede reproducir la combinación teórica, dicha comprobación se realiza según el ensayo No. 03 que está basado en AASHTO T 27 o el ensayo No. 04 que es granulometría por lavado, en el cual se calculan los porcentajes que pasan para cada tamiz, para dicho ejemplo se proporcionan los siguientes datos y en la **Tabla 4.19** se muestra la corrección en base al error obtenido, para luego calcular los porcentajes que pasan.

Así la combinación para obtener una muestra de 2510 g que sirva para realizar el ensayo granulométrico, es de la siguiente manera:

Agregado Grueso ½" – ¼"	40 %	= 0.4 x 2510 g	= 1004.0 g
Agregado Medio ¼" – 0	32 %	= 0.32 x 2510 g	= 803.2 g
Arena	28 %	= 0.28 x 2510 g	= 702.8 g
	100 %		2510.0 g

Datos de granulometría

Winicial (Wi) sin lavar seco = 2,510.0 g

Winicial lavado seco = 2,335.0 g

Wpasa No. 200 = 175.0 g

Tabla 4.19 **Corrección para Pesos Retenidos**

Tamices	Pesos retenidos g	Corrección
3/4"	-----	-----
1/2"	9.3	9.3
3/8"	218.4	218.4
No. 4	753.3	757.3 + 4.7
No. 8	407.9	407.9
No. 16	285.8	285.8
No. 30	230.9	230.9
No. 50	205.5	205.5
No. 100	138.6	138.6
No. 200	67.2	67.2
Pasa No. 200	9.4 +175	184.4
Σ	Wf = **2505.3 g**	**2510.0 g**

Recuerde que para hacer la corrección granulométrica en el ensayo No. 03 se menciona un error máximo de 0.3 % al realizar una granulometría y éste debe verificarse porque si se excede debe repetirse el ensayo.

Error Máximo = 0.3 % x 2510 = 7.53 g puede existir un error de ± 7.53 g

y el que se tiene es de 2510.0 – 2505.3 g = 4.7 g por lo tanto se puede corregir.

De otra manera es

$$\% \text{ Error obtenido} = \left(\frac{\text{Wi} - \text{Wf}}{\text{Wi}} \right) \text{x } 100 \quad < \quad 0.3\%$$

$$\% \text{ Error obtenido} = \left(\frac{2510.0 - 2505.3}{2510.0} \right) \text{x } 100 = 0.19\% \quad < \quad 0.3\%$$

La sumatoria al correr la granulometría es de 2505.3 g y la inicial antes del lavado era de 2510.0 g por lo tanto se tiene un error de 2510.0 – 2505.3 g = + 4.7 g que faltan, comparando con el Error Máximo se observa que se puede corregir, por lo que se sumaran los 4.7 g al tamiz No. 4 (por lo general se suman a la mayor cantidad) con lo que se tendrá 2510.0 g;; con esto se tiene la cantidad inicial antes de lavar que es de 2510.0 g ahora se puede proceder al cálculo de la granulometría completa la cual se muestra en la **Tabla 4.20** dicha granulometría se hizo sin separar la fracción gruesa de la fina de los agregados.

Tabla 4.20 **Comprobación Granulométrica de la Combinación de Agregados**

		Porcentaje Retenido			% Acumulado que pasa	Especificación Tipo "D" de la SIECA (%)
Tamices	**Pesos retenidos g**	**% Parcial**		**% Acumulado**		
3/4"	-----	-----	------	0	**100**	**100**
1/2"	9.3	0.37	1	1	**99**	**97 - 100**
3/8"	218.4	8.70	9	10	**90**	-----
No. 4	762.0	30.36	30	40	**60**	**57 - 69**
No. 8	407.9	16.25	16	56	**44**	**41 - 49**
No. 16	285.8	11.39	11	67	**33**	------
No. 30	230.9	9.20	9	76	**24**	**22 - 30**
No. 50	205.5	8.18	8	84	**16**	**13 - 21**
No. 100	138.6	5.52	6	90	**10**	-----
No. 200	67.2	2.67	3	93	**7**	**3 - 8**
Pasa No. 200	184.4	7.35	7	100	**0**	
Σ	**2,510.0 g.**		**100**			

De la **Tabla 4.20** se observa que los porcentajes acumulados que pasan para cada tamiz están entre los rangos especificados por la granulometría tipo "D", por lo tanto la combinación granulométrica en los porcentajes establecidos de ½" – ¼" que corresponde al agregado grueso es 40 %, ¼" – 0 que corresponde al agregado intermedio es 32 % y arena que corresponde al agregado fino es 28 %, cumplen la especificación.

Como un ejemplo extra meramente académico respecto al procedimiento de granulometría separando la fracción gruesa y fina de agregados se presenta el siguiente.

Ejemplo de granulometría separando la parte gruesa y la fina.

En éste ejemplo que se presenta a continuación la muestra de agregados combinados, se divide en dos fracciones por el tamiz No.4 para realizar el ensayo de granulometría, primero se toma una muestra de agregado combinado, según el ensayo No. 03 del capítulo II para agregado grueso.

Peso inicial de la muestra total = 1997.0 g

Análisis granulométrico de la fracción gruesa, se muestra en la **Tabla 4.21**

Tabla 4.21 **Análisis granulométrico de la fracción gruesa, muestra inicial 1997.0 g**

		Porcentaje Retenido			%
Tamices	**Pesos retenidos g**	**% Parcial**		**% Acumulado**	**Acumulado Que pasa**
3/4"	0	-----	------	0	**100**
1/2"	241.0	12.07	12	12	**88**
3/8"	13.7	5.19	5	17	**83**
No. 4	314.0	15.72	16	33	**67**
Pasa No.4	1338.3	67.02	**67**	100	
Σ	1997.0		100		

Del pasante del tamiz No. 4 se toma una muestra del tamaño recomendado para agregado fino, según el ensayo No. 03.

Análisis granulométrico de la fracción fina

Wantes de lavado = 1338.30 g

Wdespues de lavado = 1137.80 g

Pasa la No. 200 = 200.5 g

Después de realizar las correcciones pertinentes a la granulometría se obtienen los valores mostrados en la **Tabla 4.22**

Tabla 4.22 **Análisis granulométrico de la fracción fina**

		% Porcentaje Retenido			%	% Referido
Tamices	**Pesos retenidos g**	**% Parcial**		**% Acumulado**	**Acumulado que pasa**	**a muestra total**
No. 8	407.7	30.46	30	30	**70**	**47**
No. 16	267.0	19.95	20	50	**50**	**34**
No. 30	183.4	13.70	14	64	**36**	**24**
No. 50	125.6	9.39	9	73	**27**	**18**
No. 100	93.3	6.97	7	80	**20**	**13**
No. 200	60.8	4.54	5	85	**15**	**10**
Pasa No. 200	200.5	14.98	15	100	**0**	
Σ	**1338.30**					

Recuerde que

% Acumulado que pasa = 100 % — Porcentaje Retenido Acumulado

% Referido a muestra total = % Acumulado que pasa x 67 %

Luego se grafica la curva granulométrica uniendo la fracción gruesa y fina y se obtienen los valores de a, b y c.

Los porcentajes para las fracciones de agregados son las siguientes:

3/4" – 3/8": 100 – 83 = 17 %

3/8" – No. 4 : 83 – 67 = 16 %

Para la fracción de agregados No. 4 - No. 8 se calcula de la siguiente manera, ya que como las granulometrías son cortadas: porcentaje que pasa No. 4 menos % Referido a muestra total de No. 8 = 67 – 47 = 20 %

No. 4 – No. 8 : 20 %

Pasa No. 8 : 47 %

De esta forma se tienen los porcentajes de las cuatro fracciones de agregado cuando la granulometría se hace separando al agregado grueso y agregado fino.

4.4.3 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS

El procedimiento para dosificación de agregado que se utilizará en el método de diseño que se explica en este documento es el que recomienda la norma AASHTO T 245, que es la que rige el procedimiento de elaboración de las briquetas por el Método Marshall para luego ser ensayadas para la Resistencia a la Estabilidad y Flujo, el cual es el ensayo No. 22, dicho ensayo se explicará más adelante en las guías de mezcla asfáltica, abordadas en este capítulo. La guía de ensayo recomienda en la sección 4.2 relacionada a Preparación de Agregados, que los agregados se separen por tamizado seco en ciertas fracciones y recomienda los rangos. Según el tamaño máximo de los agregados (3/4") que se utilizan en el diseño, se toman las siguientes fracciones de tamaño:

- 19.0 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 pulg.)
- 9.5 mm a 4.75 mm (3/8 pulg. a No. 4)

- 4.75 mm a 2.36 mm (No. 4 a No. 8)
- Pasa 2.36 mm (No. 8)

Nuestro diseño utilizará tres tamaños de agregado con sus respectivos porcentajes establecidos en la Sección 4.8.1 que son: Agregado Grueso ½" – ¼" (40 %), Agregado Medio ¼" – 0 (32 %) y Arena (28 %); pero ahora, para poder hacer una briqueta de 1200.00 g se tienen cuatro fracciones de agregado, lo cual implica que se deben pesar cuatro cantidades, una de cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una bachada (elaboración de una briqueta); para éstas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por lo que se procede a calcularlo de la granulometría que se obtuvo al combinar los tres agregados que inicialmente se tienen, para dichos cálculos se utilizan los valores de la **Tabla 4.20** de la Sección 4.4.2.
3/4 pulg a 3/8 pulg significa que se tiene una fracción de agregado que pasa la malla de 3/4 pulg y se retiene en la malla de 3/8 pulg, el porcentaje para las diferentes fracciones de agregados se puede calcular de dos formas:

La primera sumando los valores retenidos desde la malla de ¾" hasta la de 3/8" los cuales son:
¾" = 0, ½" = 1 y 3/8" = 9 → Suma = 0 + 1 +9 = 10 %.

La segunda forma es restando los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que se encuentra dicha fracción, por ejemplo:
Pasa malla ¾" – pasa malla 3/8" = 100 – 90 = 10 % y así sucesivamente.

En la **Tabla 4.23** se presentan los valores de los porcentajes de las cuatro fracciones de agregado que se utilizarán para obtener la dosificación de cada fracción de agregado.

Tabla 4.23 **Porcentajes Calculados para Cada Fracción de Agregado.**

Pasa el tamiz	Se retiene el tamiz	Operación	% de la fracción
3/4”	3/8”	100 - 90	10
3/8”	No. 4	90 - 60	30
No.4	No. 8	60 - 44	16
Pasa la malla No. 8		44	

Con los porcentajes de las cuatro fracciones de agregado se procede a calcular el posible porcentaje óptimo de asfalto con la relación propuesta por el Instituto del Asfalto.

4.4.4 ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO

La estimación del porcentaje óptimo de asfalto es de una gran ayuda, y se realiza utilizando la relación propuesta por el instituto del asfalto, ya que proporciona un valor de asfalto óptimo teórico y a partir de este se establecen los demás porcentajes de asfalto para el diseño.

Relación propuesta por el Instituto del Asfalto

$$P = 0.032a + 0.045b + K.c + n$$

Donde:

P = porcentaje de asfalto estimado por peso total de la mezcla

a = porcentaje de material pétreo retenido en el tamiz No. 10.

b = porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10 y se retiene en la No. 200.

c = porcentaje de material que pasa la malla No. 200.

K = factor que depende del valor de “c”, así

c	K
11 – 15	0.20
6 – 10	**0.18**
c < 5	0.15

n = varía según el tipo de material pétreo y su absorción, así

Tipo de Material	n
Gravas o arenas de río de baja absorción	0.55
Gravas angulosas, redondeadas, trituradas de baja absorción	**0.60**
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y roca Triturada de absorción media.	0.70
Rocas trituradas de alta absorción	0.80

En el **Grafico 4.14** el color rojo son los límites superior e inferior de la especificación respectivamente, para graficarlos se utilizaron los límites de la especificación granulométrica tipo "D" y los valores de porcentaje que pasan cada tamiz tomados de la **Tabla 4.20**, son los de color azul, los cuales son los valores de la comprobación granulométrica.

Utilizando el **Grafico 4.14** de la combinación granulométrica se procede a obtener los valores de a, b y c de la siguiente manera:

a = 100 ─ (% pasa No. 10) = 100 ─ 41 = 59

b = (% pasa No. 10) – (% pasa No. 200) = 41 – 7 = 34

c = (% pasa No. 200) = 7

K = 0.18

n = 0.60

Sustituyendo en la ecuación tenemos

P = 0.032 (59) + 0.045 (34) + (0.18) (7) + 0.60

P = 1.888 + 1.59 + 1.26 + 0.60

P= 5.28 % , se aproxima a

P = 5.5 % de Cemento Asfáltico,

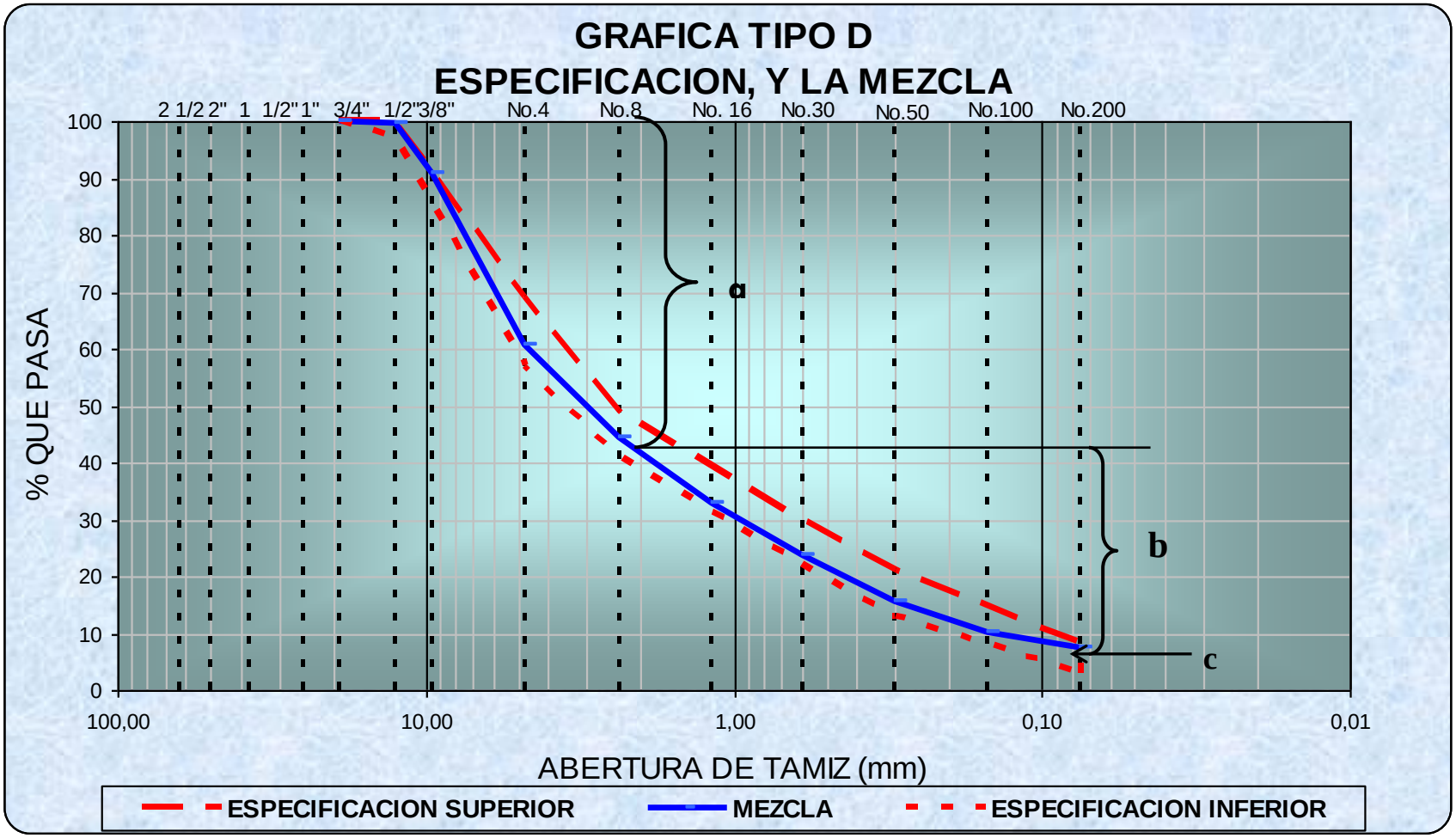


Grafico 4.14 **Comprobación granulométrica de la combinación de los tres agregados con su banda de control de la tabla 4.20**

Los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación se obtienen haciendo incrementos de 0.5% al porcentaje optimo de cemento asfáltico, dos incrementos arriba y dos abajo de 5.5%, por lo tanto los porcentajes de cemento asfáltico a utilizar para elaborar las diferentes dosificaciones (bachadas) son:

4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 %

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se elaborarán tres briquetas como mínimo, cada briqueta tendrá un peso de aproximadamente 1,200.0 g, además, también se dosificará una o dos porciones de mezcla asfáltica de aproximadamente 1,500.0 g cada una, para gravedad específica teórica máxima, la cual se deberá dejar en condición suelta. La elección de hacer una o dos muestras para teórica máxima depende de los criterios del diseñador, ya que algunos hablan de inclusive hacer tres para tener un mejor valor promedio, ya que con dos muestras ensayadas no se tiene una certeza de que valores pueden ser tomados como los más exactos. Una vez establecidos los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación se procede a calcular los pesos de los agregados para cada una de las cuatro fracciones de agregados (ver **Tabla 4.23**) y el peso de asfalto, dicho proceso se explica en la sección siguiente.

4.4.5 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA DOSIFICACIÓN DE AGREGADO Y ASFALTO.

A continuación se ejemplifica el cálculo de los diferentes pesos de agregados para cada una de las cuatro fracciones, de acuerdo a los porcentajes establecidos en la **Tabla 4.23** y el peso del asfalto para la elaboración de una briqueta y una muestra para gravedad específica teórica máxima.

4.4.5.1 Calculo para una briqueta.

Para ejemplificar el cálculo se utilizará el porcentaje de 4.5% de C.A. (Cemento Asfáltico).

Wbriqueta $\approx$ 1,200.0 g

1,200.0 g $\rightarrow$ 1,200.0 x **4.5%** = 54.0 g de C.A

1,200.0 x **95.5%** = 1,146.0 g de Agregado

100.0% 1,200.0 g por peso total en la mezcla.

La dosificación completa para una briqueta con un contenido de 4.5% C.A. se muestra en la **Tabla 4.24**.

Tabla 4.24 **Dosificación para una Briqueta con 4.5 % de Cemento Asfáltico**

Wbriqueta= 1200.0 g			**95.5 % Agregado = 1146 g**	
Fracción de Agregado		**% Fracción**	**Operación**	**Peso de Agregado (g)**
Pasa	**Se retiene**			
3/4”	3/8”	10	1146 x 0.10	114.6
3/8”	No. 4	30	1146 x 0.30	343.8
No. 4	No. 8	16	1146 x 0.16	183.4
Pasa No. 8		44	1146 x 0.44	504.2
			Σ	**1,146.0**
Asfalto		4.5 %	1200 x0.045	54.0 g de C.A
Peso de la Briqueta			**Σ**	**1,200.0**

4.4.5.2 Calculo de una muestra para Teórica Máxima.

Wmuestra ≈ 1,500.0 g

1,500.0 g → 1,500.0 x **4.5%** = 67.5 g de C.A

1,500.0 x **95.5%** = 1,432.5 g de Agregado

100.0% 1,500.0 g por peso total en la mezcla.

La dosificación completa para una muestra de Teórica Máxima con un contenido de 4.5% C.A. se muestra en la **Tabla 4.25**.

Tabla 4.25 **Dosificación para una Muestra de Teórica Máxima con 4.5 % de Cemento Asfáltico**

Wmuestra = 1500 g			**95.5 % de muestra = 1432.5 g**	
Fracción de Agregado		**% Fracción**	**Operación**	**Peso de Agregado (g)**
Pasa	**Se retiene**			
3/4”	3/8”	10	1432.5 x 0.10	143.3
3/8”	No. 4	30	1432.5 x 0.30	429.7
No. 4	No. 8	16	1432.5 x 0.16	229.2
Pasa No. 8		44	1432.5 x 0.44	630.3
			Σ	**1,432.5**
Asfalto		4.5	1500 x 0.045	67.5 g de C.A
Peso de la Briqueta			**Σ**	**1,500.0**

4.4.5.3 Cálculos para las dosificaciones para teóricas máximas y briquetas

Los cálculos para las diferentes dosificaciones tanto de teóricas máximas como para las briquetas de acuerdo a su porcentaje respectivo de cemento asfáltico se realizan de la misma forma que los ejemplos en las secciones anteriores, a continuación se presenta en las **Tablas 4.26 y 4.27** los datos calculados de todos los porcentajes de cemento asfáltico.

Tabla 4.26 **Dosificaciones para Teórica Máxima con un Peso Aproximado de 1500.0 g**

% C.A	% Agregado	Asfalto (g)	Agregado (g)	Fracciones de Agregado			
				3/4-3/8 10%	3/8-No.4 30%	No.4-No.8 16%	Pasa No.8 44%
4.5	95.5	67.5	1432.5	143.3	429.7	229.2	630.3
5.0	95.0	75.0	1425.0	142.5	427.5	228.0	627.0
5.5	94.5	82.5	1417.5	141.8	425.3	226.8	623.7
6.0	94.0	90.0	1410.0	141.0	423.0	225.6	620.4
6.5	93.5	97.5	1402.5	140.3	420.8	224.4	617.1

Tabla 4.27 **Dosificaciones para Briquetas con un Peso Aproximado de 1200.0 g**

% C.A	% Agregado	Asfalto (g)	Agregado (g)	Fracciones de Agregado			
				3/4-3/8 10%	3/8-No.4 30%	No.4-No.8 16%	Pasa No.8 44%
4.5	95.5	54.0	1146.0	114.6	343.8	183.4	504.2
5.0	95.0	60.0	1140.0	114.0	342.0	182.4	501.6
5.5	94.5	66.0	1134.0	113.4	340.2	181.4	499.0
6.0	94.0	72.0	1128.0	112.8	338.4	180.5	496.3
6.5	93.5	78.0	1122.0	112.2	336.6	179.5	493.7

Teniendo las cuatro fracciones de agregado según lo sugiere la norma AASHTO T 245 (Ensayo No. 22) y sus pesos de acuerdo a sus porcentajes respectivos, procedemos a pesar cada fracción de agregado de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se utilizará en cada una de las bachadas (agregado –asfalto), tanto para briquetas como las muestras que serán utilizadas para la realización del ensayo de gravedad específica teórica máxima y extracción de asfalto, según el número que se harán de cada una de ellas. Procedimientos más detallados se explican en las guías de ensayo respectivas.

4.4.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + ...Pn}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + ...\frac{Pn}{Gn}}$$

Donde:

Gsb = Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados.

P_1, P_2, …. P_n = Porcentaje por Peso de los Agregados.

G_1, G_2, …. G_n = Gravedad Específica bulk de Cada Agregado.

Las gravedades específicas de los materiales las cuales se han obtenido por medio de cada uno de los ensayos respectivos son las siguientes:

Agregado ½" – ¼" → $G_1 = 2.649$

Agregado ¼" – 0 → $G_2 = 2.707$

Arena → $G_3 = 2.349$

Asfalto → $G_{asf} = 1.011$

$$Gsb = \frac{40 + 32 + 28}{\frac{40}{2.649} + \frac{32}{2.707} + \frac{28}{2.349}} = 2.575$$

4.4.7 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

En el proceso de diseño se realiza trabajo de laboratorio y análisis de los datos obtenidos en los ensayos, en las siguientes secciones se explica cada una de estas fases.

4.4.7.1 Trabajo de laboratorio

En la primera dosificación que se realizo las proporciones de agregado son: Agregado grueso 40%, agregado intermedio 32% y arena 28%, con los porcentajes de las cuatro fracciones de la **Tabla 4.23** y utilizando de acuerdo al tamaño máximo nominal de la

combinación de agregados que es de 1/2 pulgada, la especificación granulométrica Tipo "E" de la SIECA, según **Tabla 4.17**. Primeramente se elaboran las briquetas, de acuerdo al procedimiento contemplado en la guía de ensayo No. 22 (basado en AASHTO T 245), la cual establece que la temperatura de mezclado para cemento asfáltico es aquella que produce una viscosidad de 170 ± 20 centistoke (cSt), para el cemento asfáltico (60-70) que se ocupo, éste rango de viscosidades se logra con temperaturas de 150 a 156 ºC; adoptando un valor promedio se uso la temperatura para mezclado de 154 ºC, mientras que las viscosidades para compactación según T 245 serán de 280 ± 30 cSt (ver **Figura 4.2**), alcanzándolas en el cemento asfáltico utilizado en el rango de temperaturas de 140 a 144 ºC, adoptando un valor promedio de 142 ºC para la compactación, los cuales fueron obtenidos de la carta viscosidad-temperatura de la **Figura 4.2**. El procedimiento de elaboración de las briquetas se detalla mejor en la guía de ensayo No. 22.

Luego de elaborar las briquetas se realiza el trabajo de laboratorio comprendido en el procedimiento Marshall que comprende los siguientes ensayos, que se resumen como:

- Estabilidad y Flujo, AASHTO T 245 (Ensayo No. 22)
- Gravedad Específica Teórica Máxima, AASHTO T 209 (Ensayo No. 23)
- Gravedad Específica Bulk, AASHTO T 166 (Ensayo No. 24)

Como ensayos extras se realizaron los siguientes:

- Extracción Cuantitativa de Ligantes Asfálticos, AASHTO T 164 (Ensayo No. 25)
- Análisis Granulométrico del Agregado Extraído, AASHTO T 30 (Ensayo No. 26).

Además se explican la importancia de dichos ensayos:
Estos dos ensayos sirven para el control de mezclas asfálticas tanto en planta como en campo; pero además pueden ser utilizados durante el diseño de mezcla ya que su importancia se fundamenta en lo siguiente: sirven como ayuda extra para verificar que las dosificaciones de agregado y asfalto se cumplen en el procedimiento de diseño de

mezcla en el laboratorio antes de realizar una bachada de planta, ya que entre más seguro se este que la dosificación de diseño es reproducible, da mayor confianza y certeza, para esperar una buena reproducibilidad del diseño cuando se produzca la bachada de planta. Lo que se busca es que la planta reproduzca el diseño establecido, por lo tanto se espera que, la producción de planta se ajuste al diseño de laboratorio y no ajustar el diseño a la producción de la planta.

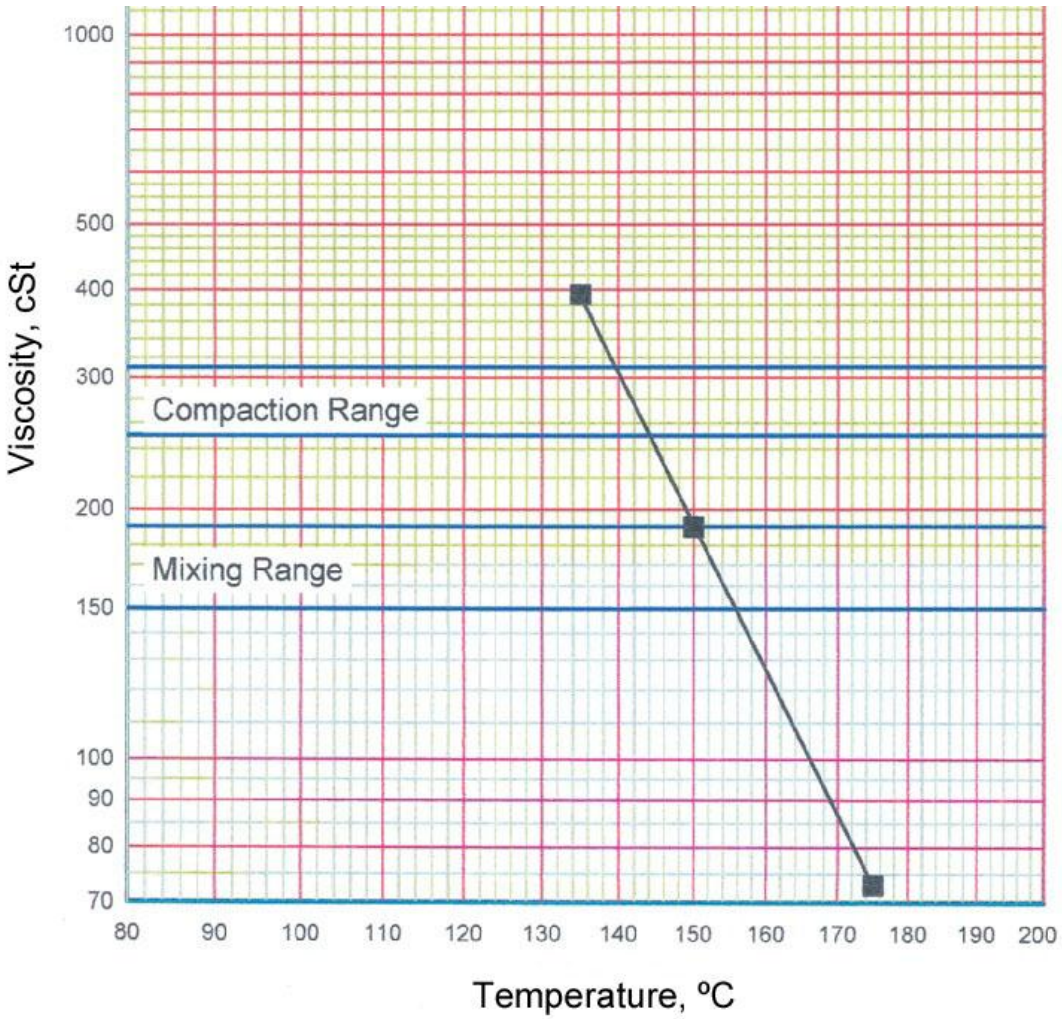


Figura 4.2 **Carta viscosidad-Temperatura**

Además la extracción de asfalto sirve para tener una idea previa, de que se cumple la tolerancia de asfalto (± 0.5%) respecto a una dosificación específica de cada bachada para los diferentes puntos de dosificación durante el proceso de diseño en el laboratorio, además la granulometría que se hace al agregado extraído, es útil para establecer una banda de control de agregados (especificación granulométrica) en aquellos caso que no se tiene como la "Especificación tipo E" de la **Tabla 4.17**, ó inclusive en aquella especificación que ya está establecida como una "Especificación tipo D" (**Tabla 4.17**), ya que una empresa puede establecer una pequeña variación en los rangos de dicha especificación y dependerá del agregado que utiliza, siempre y cuando todas las especificaciones de diseño (para este caso Marshall) se cumplan.

Después de la elaboración de briquetas se puede proceder a realizar los ensayos Marshall: Gravedad Específica Bulk ;según guía de Ensayo No. 24, Estabilidad y Flujo; según la guía de ensayo No. 22, Teórica Máxima; según guía de Ensayo No. 23, todas en base a las normas AASHTO correspondientes. La densidad bulk debe obtenerse antes de la estabilidad, ya que éste es un ensayo destructivo, de la bulk y teórica máxima se obtiene el porcentaje de vacíos de cada bachada.

Durante el proceso que se realizó para el diseño de mezcla se hicieron varias repeticiones, para los primeros ensayos las dosificaciones de los materiales se basaron en las cantidades y porcentajes de asfalto (4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5) de las **Tablas 4.26** y **4.27**; las briquetas con dichas dosificaciones presentaron valores irregulares de vacíos, además en las primeras dosificaciones con 4.5%, 5.0% y 5.5% de cemento asfáltico las briquetas presentaban un color negro pálido indicativo que les hacia falta más asfalto; se repitió la dosificación iniciando con 5.5% hasta 7.0% de cemento asfáltico, los resultados de esta segunda prueba de diseño son los que se presentan en las siguientes tablas y es en base a estos valores que se explican como se calcula cada valor de los ensayos marshall:

Gravedad específica bulk

Teórica Máxima

Estabilidad y Flujo.

Ensayo de Densidad Bulk

Después de la compactación de las briquetas y su posterior extracción de los moldes para que las briquetas se enfríen a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo de la gravedad bulk, según el ensayo No. 24, basado en AASHTO T 166. Dicha norma establece que la diferencia máxima permitida entre dos valores de gravedad específica bulk es de 0.02, para que puedan ser promediados, aquella gravedad bulk que sobrepasa dicho valor es descartada. La **Tabla 4.28** contiene los datos obtenidos de ensayo necesarios para calcular la gravedad específica bulk de cada una de las bachadas, luego se ejemplifican los procedimientos de cálculo.

Tabla 4.28 **Valores para el Cálculo de Gravedad Específica Bulk**

Porcentaje de asfalto	5.5%			6.0%		
Número de briqueta	1	2	3	1	2	3
Peso seco en aire, g	1229.0	1227.8	1232.5	1225.2	1224.7	1224.2
Peso superficialmente seco saturado, g	1229.8	1228.2	1233.7	1226.3	1226.4	1225.3
Peso en agua, g	682.1	686.00	681.6	680.8	675.0	679.9
Grav. Específica bulk (G_{sb})	2.244	2.264	2.232	2.246	2221	2.245
Promedio	2.238			2.245		
Porcentaje de asfalto	6.5%			7.0%		
Número de briqueta	1	2	3	1	2	3
Peso seco en aire, g	1231.9	1227.9	1227.2	1224,4	1214.6	1222.6
Peso superficialmente seco saturado, g	1233.6	1229.2	1228.4	1224,8	1216.1	1224.2
Peso en agua, g	694.5	696.8	692.5	698,0	687.6	692.0
Grav. Específica bulk (G_{sb})	2.285	2.306	2.290	2,324	2.298	2.297
Promedio	2.294			2.298		

Los valores en las columnas tachados no son utilizados, ya que la tolerancia máxima en diferencia establecida por la norma AASHTO T 166 de 0.02 es sobrepasada entre dos valores de gravedad específica bulk, por lo que sólo se promedian los resultados de Gravedad Específica Bulk que cumplen este requisito, para cada bachada.

A continuación se da un ejemplo de cálculo de Gravedad Específica Bulk.

$$Gmb = \frac{W_{muestra}}{W_{sss} - W_{sumergido}}$$

Briqueta	1	2	3
$W_{muestra}$, g	1229.0	1227.8	1232.5
W_{sss}, g	1229.8	1228.2	1233.7
$W_{sumergido}$, g	682.1	686.0	681.6

$$G_{mb1} = \frac{1229}{1229.8 - 682.1} = 2.244$$

$$G_{mb2} = \frac{1227.8}{1228.2 - 686.0} = 2.264$$

$$G_{mb3} = \frac{1232.5}{1233.7 - 681.6} = 2.232$$

Se rechaza el valor de G_{mb2}, ya que su diferencia es de 0.02 con el punto 1 y de 0.032 con el valor de G_{mb3}, la diferencia entre $G_{mb1\ y}\ G_{mb3}$ es de 0.012 menor que 0.02, por lo tanto se promedian estos dos valores.

$$G_{mb2} - G_{mb1} = 2.264 - 2.244 = 0.02$$

$$G_{mb1} - G_{mb3} = 2.244 - 2.232 = 0.012$$

Valor promedio

$$G_{mb} = \frac{2.244 + 2.232}{2} = 2.238$$

Ensayo de teórica máxima

La gravedad específica teórica máxima (Gmm) (Ensayo No. 23), como su nombre lo dice es la máxima densidad que puede presentar una mezcla asfáltica, ya que no considera vacíos en la muestra por estar esta en condición suelta, simplemente es la densidad de sólo las partículas de agregado recubiertas por el asfalto; es complementaria de la gravedad específica bulk, ya que con los valores de dichas gravedades se obtiene el

porcentaje de vacíos (%Pa), la **Tabla 4.29** es un resumen de los valores para calcular la teórica máxima.

Tabla 4.29 **Valores para el Cálculo de Gravedad Específica Teórica Máxima**

Contenido de asfalto	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**	**7.0%**
Peso del picnómetro + agua, g	11765	11765	11765	11765
Peso de la muestra en el aire, g	2100	2100	2100	2100
Peso del picnómetro + muestra + agua, g	12996	12988	12982	12975
Grav. Esp. Máxima Teórica (**G_{mm}**)	2.417	2.395	2.378	2.360

De este se da un ejemplo de cálculo para un contenido de asfalto de 5.5%

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W_{muestra} + W_{picnometro+agua} - W_{picnometro+muestra+agua}}$$

$$W_{muestra} = 2100g$$

$$W_{picnometro\ +\ agua} = 11765g$$

$$W_{picnometro\ +\ muestra\ +\ agua} = 12996g$$

$$G_{mm} = \frac{2100}{2100 + 11765 - 12996} = 2.417$$

Ensayo de estabilidad y flujo

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, las quijadas (cabezales) superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador dial. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad marshall indica la resistencia de una mezcla asfáltica a la deformación; sin embargo en las mezclas asfálticas no siempre se aplica que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mejor. Estabilidades extremadamente altas se obtienen a sacrificio de durabilidad, por lo que un valor de

estabilidad demasiado alto no siempre es bueno en una carpeta asfáltica, todo dependerá de las solicitaciones del tráfico para un determinado proyecto.

El valor de la fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro de la briqueta.

Los resultados del ensayo de estabilidad y flujo se presentan en la **Tabla 4.30** y posteriormente se explica un ejemplo de cómo se calcula y corrige la estabilidad

Tabla 4.30 **Valores de Estabilidad y Flujo con agregados según Especificación tipo "D" de SIECA.**

Briqueta	Volumen cm^3	Corrección	Flujo (mm)	Lectura estabilidad	Estabilidad (Kg)	Estabilidad corregida (Kg)
5.5 %						
I	547.7	0.89	2.00	665	1733	1542
II	542.2	0.93	2.00	678	1766	1643
III	552.1	0.89	2.00	660	1720	1531
Promedio			2.00			1572
6.0 %						
I	545.5	0.93	2.00	673	1754	1631
II	551.4	0.89	2.25	640	1668	1485
III	545.4	0.93	2.25	655	1707	1587
Promedio			2.17			1568
6.5 %						
I	539.1	0.93	2.50	725	1888	1756
II	532.4	0.96	2.50	725	1888	1813
III	535.9	0.93	2.25	700	1823	1696
Promedio			2.42			1755
7.0 %						
I	526.8	0.96	2.00	700	1823	1751
II	528.5	0.96	2.00	700	1823	1751
III	532.2	0.96	2.00	700	1823	1751
Promedio			2.00			1751

Estos datos fueron obtenidos según se explica, en el cual se toman como ejemplo las briquetas con 5.5% de cemento asfáltico y valores de la **Tabla E 22.1** del ensayo No. 22:

Briqueta	Lectura de estabilidad	Volumen de especimen cm^3	Rango de volumen cm^3	Espesor aproximado de especimen cm^3	mm	Razón de correlación
1	665	547.7	547 - 559	2 11/16	68.3	0.89
2	678	542.2	536 - 546	2 5/8	66.7	0.93
3	660	552.1	547- 559	2 11/16	68.3	0.89

Calculando estabilidad con la ecuación de la curva del anillo de carga

Estabilidad = 2.5897 x Lect. Estabilidad + 10.679

Dicha ecuación depende del anillo que se utilice en el ensayo, por lo tanto cada anillo debe ser calibrado antes para encontrar su ecuación.

Para briqueta 1

$$Estabilild\,ad = (2.5897 \times 665) + 10.679 = 1733 \quad \text{Kg}$$

Para briqueta 2

$$Estabilild\,ad = (2.5897 \times 678) + 10.679 = 1766 \quad \text{Kg}$$

Para briqueta 3

$$Estabilild\,ad = (2.5897 \times 660) + 10.679 = 1720 \quad \text{Kg}$$

Cálculo de estabilidad corregida

Factores de corrección

Briqueta 1

Se restan el peso saturado superficialmente seco y el peso sumergido de la briqueta como sigue:

1229.8 – 682.1= 547.7

Ahora buscando el factor de corrección en la **Tabla E 22.2** del ensayo No. 22, el valor de volumen de 547.7 está entre el rango de 547 a 559 de la primera columna de dicha tabla, por lo tanto el factor de corrección en la columna 4 es de 0.89

$$\text{Estabilidad corregida} = 0.89 \times 1733 = 1542\text{Kg}$$

Briqueta 2

Diferencia de pesos = 1228.2 – 686 = 542.2

El valor queda entre 536 a 546 de la tabla E 22.2 del ensayo No. 22, por lo tanto el factor es de 0.93

$$\text{Estabilidad corregida} = 0.93 \times 1766 = 1642 \quad \text{Kg}$$

Briqueta 3

Diferencia de pesos = 1233.7 – 681.6 = 552.1

El valor queda entre 547 a 559 de la tabla 22.2 del ensayo No. 22, por lo tanto el factor es de 0.89

$$\text{Estabilidad corregida} = 0.89 \times 1720 = 1531 \quad \text{Kg}$$

Luego se calcula la estabilidad promedio, la cual se utilizará como valor de estabilidad para el punto de diseño con un contenido de 5.5% C.A. (Cemento Asfáltico) .

$$\text{Estabilidad} = \frac{1542 + 1642 + 1531}{3} = 1572 \quad \text{Kg}$$

Flujo

En cuanto a los valores de flujo solamente es necesario promediarlos y darlos en milímetros (mm).

Con los Resultados de los ensayos Marshall se realiza el análisis de densidad y vacíos, explicados en la sección 4.4.7.2.

El objetivo de esta guía también contempla el análisis de la mezcla en la planta, por lo que también se explicarán los cálculos relacionados a los ensayos de extracción de asfalto (ensayo No.25) y granulometría al agregado extraído (ensayo No. 26), que además también sirven para tener una idea durante el proceso de diseño de la reproducibilidad de la mezcla en la variación del porcentaje de asfalto en las bachadas y la utilidad de obtener la granulometría de los agregados extraídos en aquel caso que sea necesario restringir ó establecer la banda granulométrica especificada.

Ensayo de extracción de asfalto

La realización del ensayo de extracción de asfalto (Ensayo No. 25) es opcional durante el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente y puede ser realizado si el diseñador a su juicio lo considera necesario, el objetivo es tener una idea a nivel de laboratorio si el valor de cemento asfáltico para cada bachada de diseño se cumple; el valor de asfalto extraído puede dar el mismo que la dosificación o entre un rango establecido en base a la variación especificada de ± 0.5% de cemento asfáltico (C.A), por ejemplo si una bachada se hizo con 5.5% C.A el rango en el cual el valor del asfalto extraído es aceptable es de 5.0 a 6.0% C.A.

Seguidamente se explica como se calcula el porcentaje de asfalto extraído, en la **Tabla 4.31** se muestran los valores de las dosificaciones de cemento asfáltico y los valores obtenidos después de la extracción.

Extracción de Asfalto:

Para un contenido de asfalto de 5.5 %:
W_1= Peso de la porción de ensayo = 1700.0 g
W_3 = Peso del agregado extraído = 1607.2 g
Peso inicial de filtro = 19.8 g
Peso de filtro después de extracción = 22.0 g

Calculando el peso del agregado retenido

$W_4 = 22 – 19.8 = 2.2$ g

$$\text{Contenido de ligante asfaltico} = \frac{1700 - (1607.2 + 2.2)}{1700} = 5.3\%$$

dicho valor cumple ya que está dentro del rango de 5.0 a 6.0 % C.A

Tabla 4.31 **Valores para Extracción de Cemento Asfáltico, con granulometría Especificación tipo "D" de SIECA.**

Porcentaje de asfalto añadido	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**	**7.0%**
Peso antes de la extracción	1700.0	1700.0	1700.0	1700.0
Peso después de la extracción	1607.2	1598.0	1588.0	1581.4
Peso inicial del filtro	19.8	19.8	19.9	19.9
Peso del filtro después de la extracción	22.0	22.0	22.0	21.3
Peso del agregado retenido	2.2	2.2	2.1	1.4
Peso total de los agregados extraídos	1609.4	1600.2	1590.1	1582.8
porcentaje de asfalto extraído	5.3	5.9	6.5	6.9

De la **Tabla 4.31** se observa que todos los valores de asfalto extraído están dentro de la tolerancia de ± 0.5% de cemento asfáltico. Si se produjera una pequeña bachada en la planta con cualquiera de las dosificaciones se tendría cierto grado de seguridad que la dosificación de asfalto en el agregado se cumpliría.

Ensayo de granulométrica de agregado extraído:

Después de hacer la extracción de asfalto se procede a comprobar la granulometría del agregado extraído (Ensayo No. 26, que también es opcional en la etapa de diseño), para ver si se cumple con la especificación granulométrica designada, que para este diseño es una granulometría tipo "D" de la SIECA.

La importancia de realizar este ensayo en la etapa de diseño se fundamente en conocer previamente a la producción de planta si la combinación de agregados en las proporciones de Agregado grueso 40%, agregado intermedio 32% y arena 28%

reproducen la granulometría especificada, este cumplimiento a nivel de laboratorio garantiza que la dosificación es reproducible en planta.

En la Tabla se presentan los valores del resultado de los ensayos de cada bachada.

Tabla 4.32 **Valores de granulometrías después de extracción de asfalto, según especificación tipo "D" de SIECA**

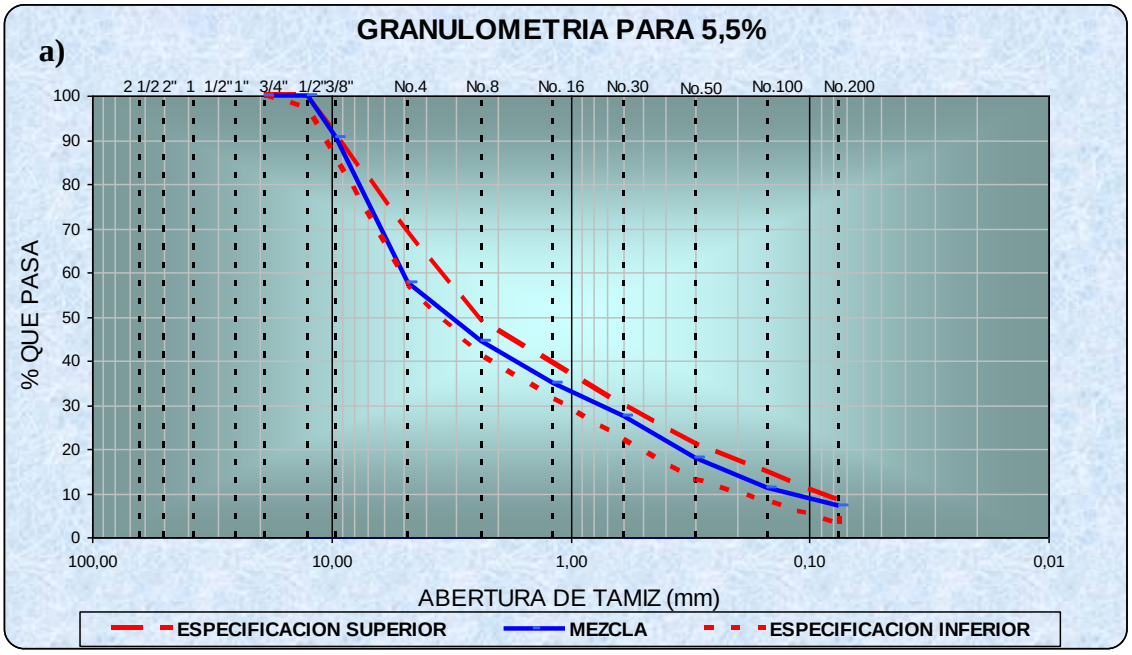
Tamaño de tamiz	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%	Promedio	Especificación tipo "D" de la SIECA (% que pasa)
3/4	100	100	100	100	100	100
1/2	100	100	100	100	100	97-100
3/8	91	90	93	91	91	-
No. 4	58	56	59	59	58	57-69(±6)
No. 8	44	43	46	47	45	41-49(±6)
No. 30	27	26	26	28	27	22-30(±4)
No. 50	18	17	17	18	18	13-21(±3)
No. 200	7.3	7.1	7.3	8.1	7.4	3-8(±2)

De la **Tabla 4.32** observa que las granulometrías para cada dosificación de cemento asfáltico cumplen con la especificación, por lo tanto la dosificación de agregados en las proporciones establecidas reproducen la granulometría especificada.

Utilidad del promedio

La utilidad de obtener un promedio de los porcentajes que pasan, es en aquel caso que se desee modificar algunos rangos de la especificación para este caso tipo "D" ó para establecer una que no tenga rangos como la granulometría tipo "E", en ambos casos influye los criterios y necesidades de las empresas productoras de mezclas asfálticas, ya que uno o varios rangos de una especificación granulométrica pueden ser reducidos o ampliados y lo que se busca es tener una reproducibilidad de la granulometría en planta en base a las proporciones de agregados para el diseño, y por supuesto cumplir con todos los requisitos del método de diseño de mezclas, que para este caso es el Método Marshall.

Con los valores de la **Tabla 4.32** se pueden elaborar los Gráficos 4.15 y 4.16. que son un indicativo de que se cumplen la especificación granulométrica.



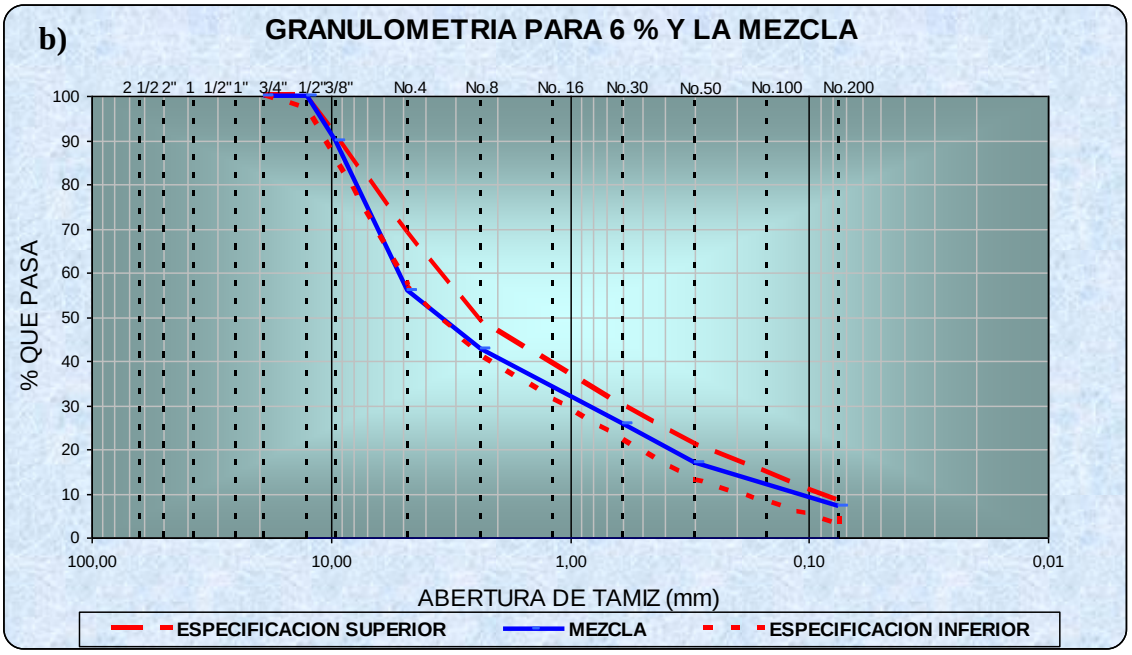
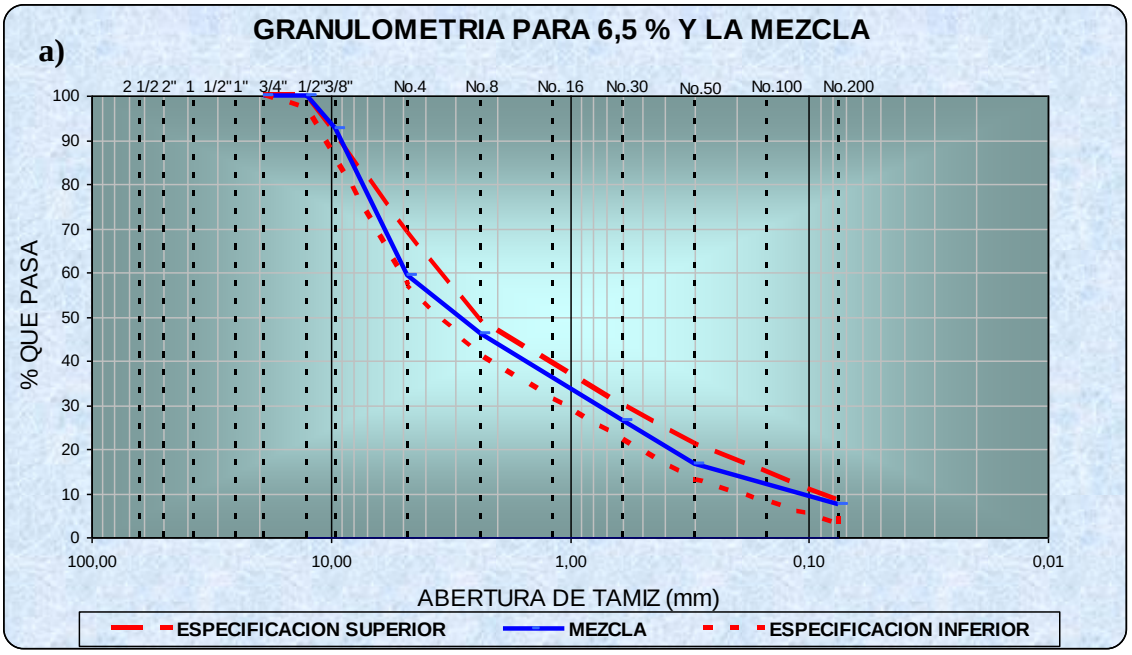


Grafico 4.15

Granulometría de agregado extraído:
a) Para un contenido de asfalto del 5.5%, b) Para un contenido de asfalto del 6.0%



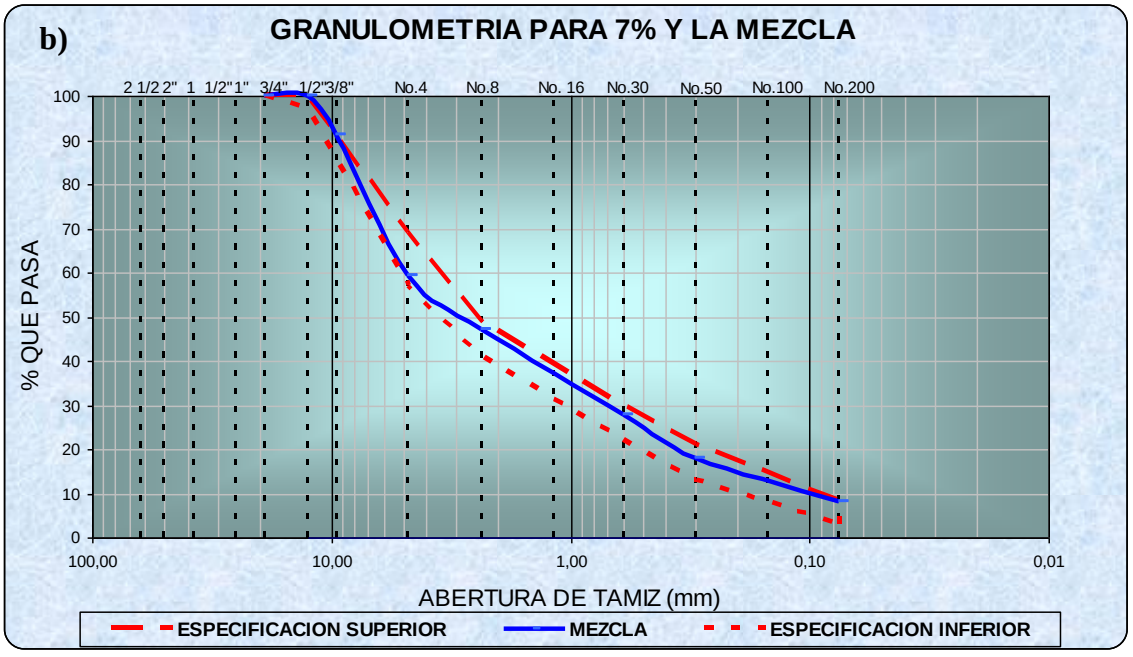


Grafico 4.16

Granulometría de agregado extraído:
a) Para un contenido de asfalto del 6.5%, b) para un contenido de asfalto del 7.0%

4.4.7.2 Análisis de los resultados de laboratorio

Después que se han realizado los ensayos Marshall en laboratorio es necesario realizar el tercer procedimiento contemplado en el método Marshall: análisis de la densidad y el contenido de vacíos en las briquetas; esto se hace mediante al análisis de los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, para ello se deben hacer diversos cálculos para obtener ciertos valores y posteriormente elaborar los seis gráficos con los que se podrá obtener el contenido óptimo de asfalto para el diseño. Este análisis comprende:

- Densidad
- Vacíos de aire
- Vacíos en el agregado mineral
- Vacíos llenos de asfalto

Análisis de la densidad

La densidad de cada serie de briquetas de prueba es calculada multiplicando la Gravedad Específica Bulk por la densidad del agua a la temperatura de ensayo (25 ºC), que por lo general se ocupa 1000 Kg/m^3 y su formula es:

$$Densidad = G_{mb} \times 1000\ Kg/m^3$$

Donde:

G_{mb} = Gravedad Específica Bulk

Los valores de densidad para cada dosificación de asfalto han sido calculados a partir de los promedios de la gravedad específica bulk, los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 4.33**.

Tabla 4.33 **Resumen de valores de Grav. Esp. Bulk y Grav. Esp. Teórica Máxima y Porcentaje de Vacíos.**

Contenido de asfalto	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**	**7.0%**
Grav. Esp. Teórica Máxima	2.417	2.395	2.378	2.360
Grav. Esp. Bulk	2.238	2.245	2.294	2.298
Densidad (Kg/m^3)	2,238	2,245	2,294	2,298
%Vacíos (P_a)	7.4	6.2	3.6	2.6

Ejemplo para 5.5% de cemento asfáltico

Densidad = 2.238 x 1000 Kg/m^3 = 2, 238 Kg/m^3

Análisis del porcentaje de vacíos (P_a)

El propósito del análisis es determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada, el cual en el diseño debe de estar entre 3 y 5%. Los vacíos son pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. Como ya se había mencionado antes existe una relación entre la gravedad específica bulk y la teórica máxima ya que son de las cuales se obtiene el porcentaje de vacíos, la teórica máxima no contempla vacíos en la muestra; mientras que una briqueta compactada sí contiene vacíos en su interior, por lo tanto la gravedad específica bulk es menor que la teórica máxima. Para el cálculo del porcentaje de vacíos se da un ejemplo a continuación.

La formula para el porcentaje de vacíos es

$$P_a = 100 \times \frac{G_{mm} - Gmb}{G_{mm}}$$

Donde:

P_a= vacíos de aire en mezcla compactada, porcentajes del volumen total

G_{mm}= gravedad específica máxima teórica de mezclas de pavimentación

G_{mb}= gravedad específica bulk de mezclas compactadas

Se toman datos para un contenido de asfalto de 5.5 %, ver en **Tabla 4.33**

G_{mm} = 2.417

G_{mb} = 2.238

$$P_a = \frac{2.417 - 2.238}{2.417} \times 100\% = 7.4\%$$

Análisis de los vacíos en agregado mineral (VMA)

Los vacíos en el agregado mineral VMA están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla para pavimentación compactada, incluye los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla. Para los vacíos en agregado mineral se obtuvieron los valores mostrados en la **Tabla 4.34**:

Tabla 4.34 **Valores para el Cálculo del Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (%VMA).**

Contenido de asfalto	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**	**7.0%**
Porcentaje de agregado	94.5%	94.0%	93.5%	93.0%
Grav. Esp. Bulk de la briqueta	2,238	2,245	2,294	2,298
Grav. Esp. Bulk de la combinación de agregados	2.575	2.575	2.575	2.575
%VMA	17.87	18.05	16.70	17.00

A continuación se da un ejemplo de cálculo para el 5.5% de cemento asfáltico, junto con su formula:

$$VMA = 100\% - \left(\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right)$$

Donde:

VMA= vacíos en agregado mineral (porcentaje de volumen total de la mezcla)

G_{sb}= gravedad específica bulk de la combinación de agregados

G_{mb}= gravedad específica bulk de la mezcla compactada

P_s= porcentaje de agregado, por peso total en la mezcla

P_s = 100-5.5 = 94.5%, se opera como valor (94.5).

G_{mb} = 2.238

G_{sb} = 2.575

$$VMA = 100\% - \left(\frac{2.238 \times 94.5\%}{2.575} \right) = 17.85\%$$

Análisis de vacíos llenos de asfalto (VFA)

Los vacíos llenos de asfalto, VF, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregados (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, mientras que el VFA sólo el asfalto que une a los agregados (asfalto efectivo), el valor de VFA se expresa como un porcentaje. Finalmente se calculan los vacíos llenos de asfalto dándonos los resultados de la **Tabla 4.35**.

Tabla 4.35 **Valores para el Cálculo del Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (%VFA).**

Contenido de asfalto	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**	**7.0%**
Vacíos en agregado mineral (**VMA**), %	17.87	18.05	16.7	17.00
Porcentaje de vacíos ($\mathbf{P_a}$), %	7.4	6.2	3.6	2.6
Vacíos llenos de asfalto (**VFA**), %	58.59	65.65	78.44	84.71

A continuación se da un ejemplo del cálculo de los vacíos llenos de asfalto para un contenido de 5.5 % de cemento asfáltico, al igual que se presenta su formula:

$$VFA = \frac{VMA - P_a}{VMA} \times 100$$

Donde:

VFA= vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA

VMA= vacíos en agregado mineral (porcentaje de volumen bula)

P_a= vacíos de aire en mezcla compactada, porcentajes del volumen total

VMA = 17.87%

P_a = 7.4%

$$VFA = \frac{17.87 - 7.4}{17.87} \times 100 = 58.59\%$$

Todo este proceso conlleva a la obtención de todos los datos necesarios para elaborar los gráficos que contempla el método marshall.

Analizando los resultados del ensayo Marshall

La **Tabla 4.36** contiene un resumen de todos los datos necesarios para hacer las gráficas, con las que se definirá el contenido óptimo de asfalto para el diseño, siguiendo un procedimiento para analizar todas las graficas con un valor específico de 4% de vacíos, considerando que es el valor promedio de la especificación para vacíos que es de 3 a 5%.

Tabla 4.36 **Resumen de valores necesarios para el trazo de las gráficas.**

Contenido de Asfalto	Densidad (Kg/m^3)	% Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
5.5%	2,238	7.4	17,87	58.59	1572	2.00
6.0%	2,245	6.2	18,05	65.65	1568	2.17
6.5%	2,294	3.6	16,7	78.44	1755	2.42
7.0%	2,298	2.6	17,00	84.71	1751	2.00

Graficando los resultados

Después de la realización de los ensayos y obtener sus resultados, estos son trazados en gráficas (ver **Grafica 4.17**), para poder entender las características particulares de cada briqueta usada en la serie.

Los valores graficados en el eje de las ordenadas (Y) son: porcentaje de vacíos, porcentaje de VMA, porcentaje de VFA, Densidad, Estabilidad y Fluencia, todos contra el valor en las abscisas (X) que son los diferentes porcentajes de asfalto.

Relaciones y observaciones de resultados de los ensayos

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, como las **Gráficas 4.14**, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas:

- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- La curva para la densidad de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que la densidad máxima se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad.
- Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.
- Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

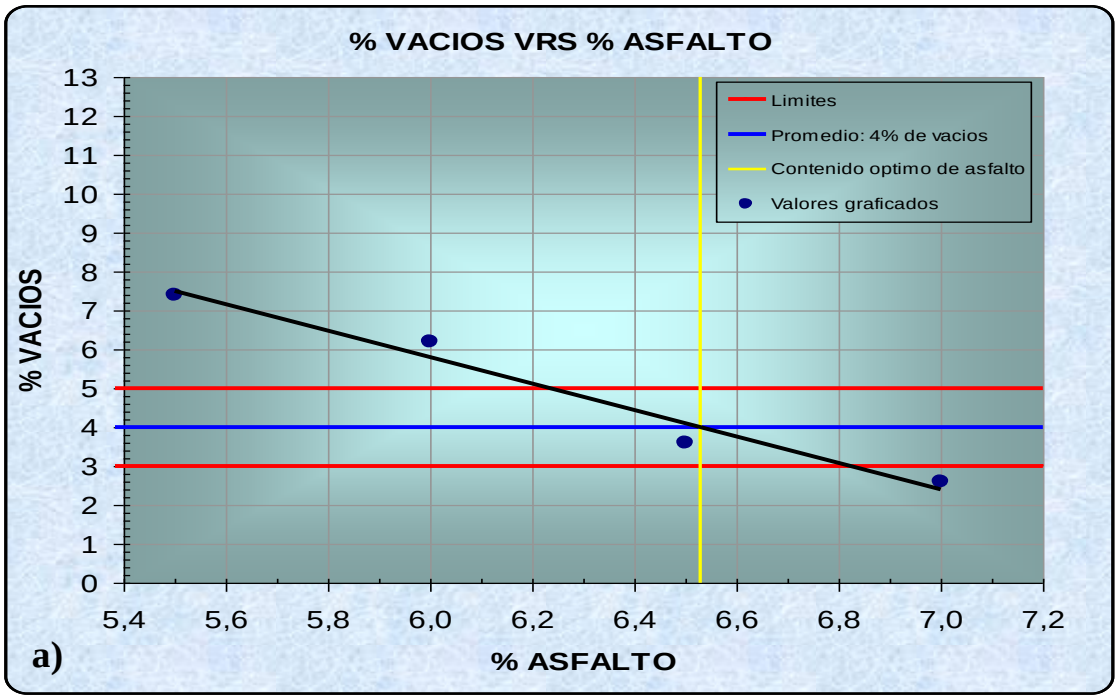
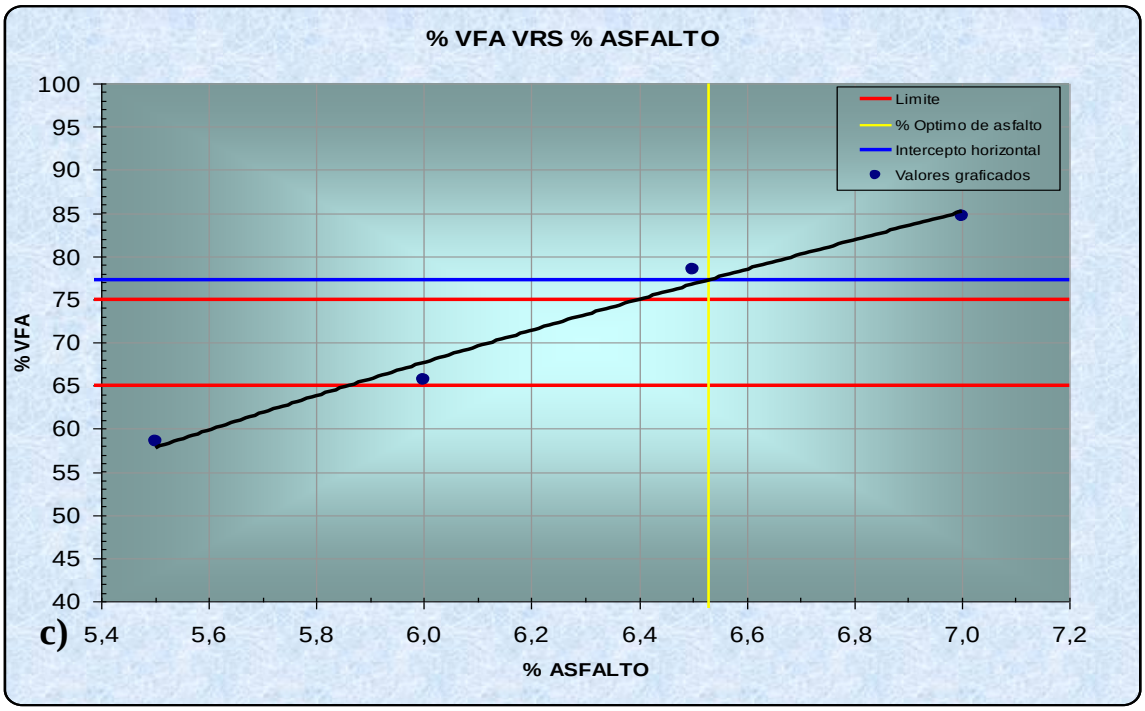


Grafico 4.17 **Graficos de los resultados del ensayo Marshall: a) % de vacíos-contenido de asfalto, b) %VMA-contenido de asfalto.**



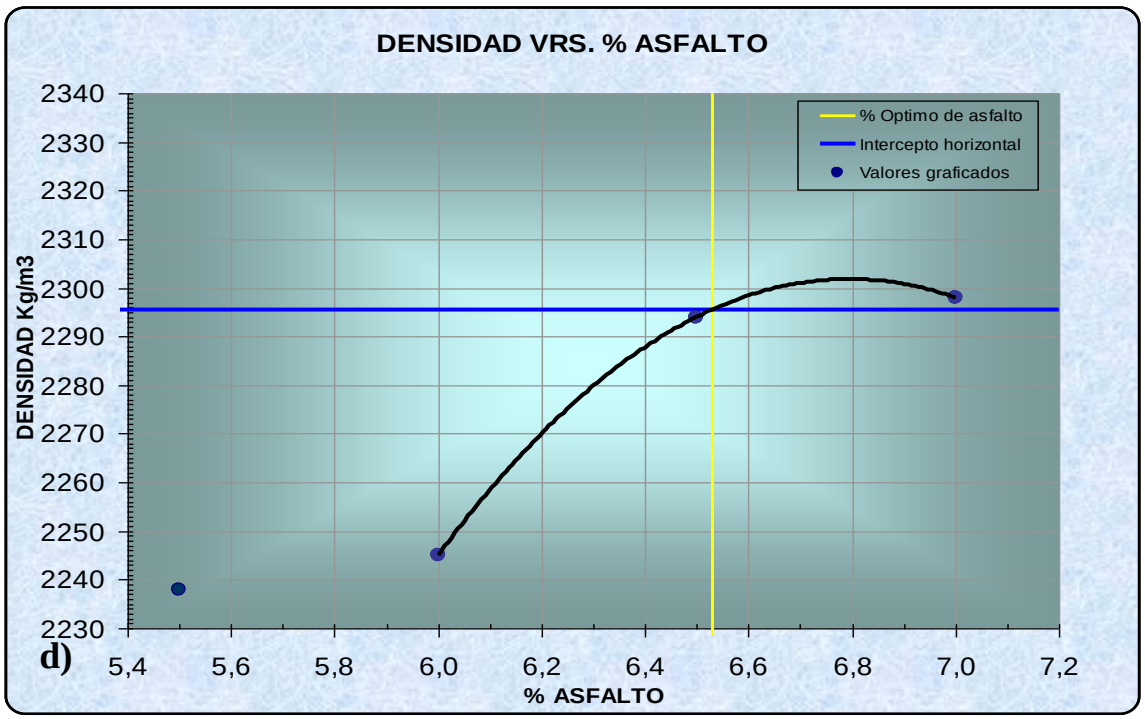
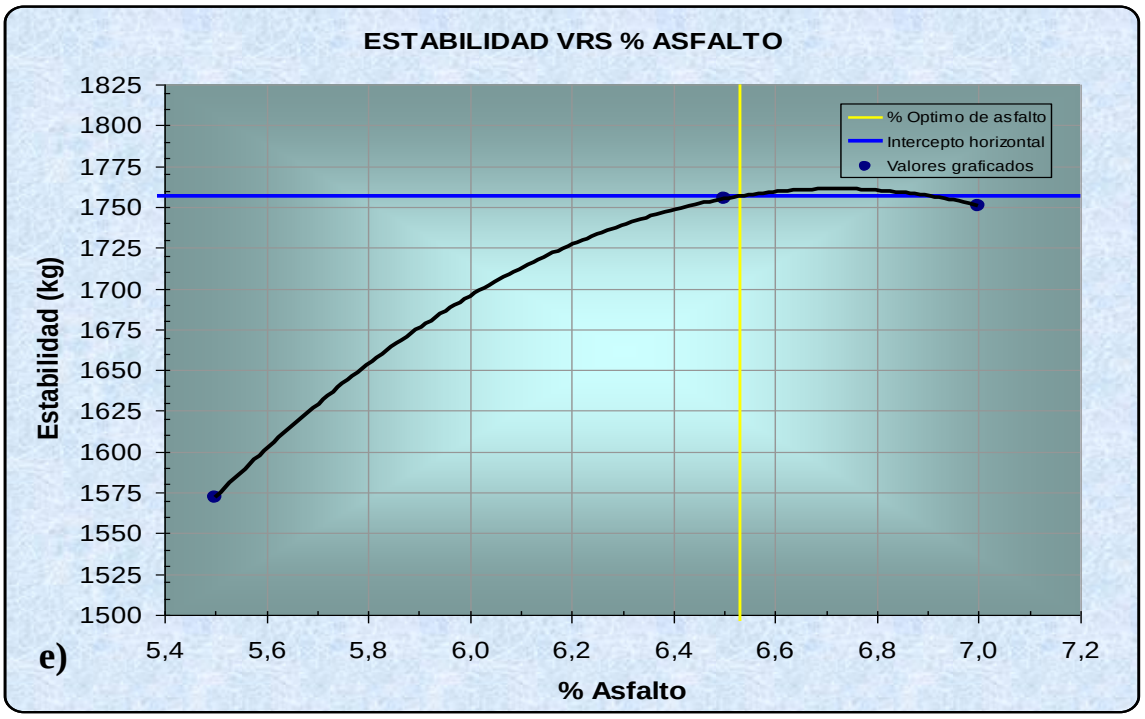


Grafico 4.17

Graficos de los resultados del ensayo Marshall:
c) % VFA-contenido de asfalto, d) Densidad-contenido de asfalto.



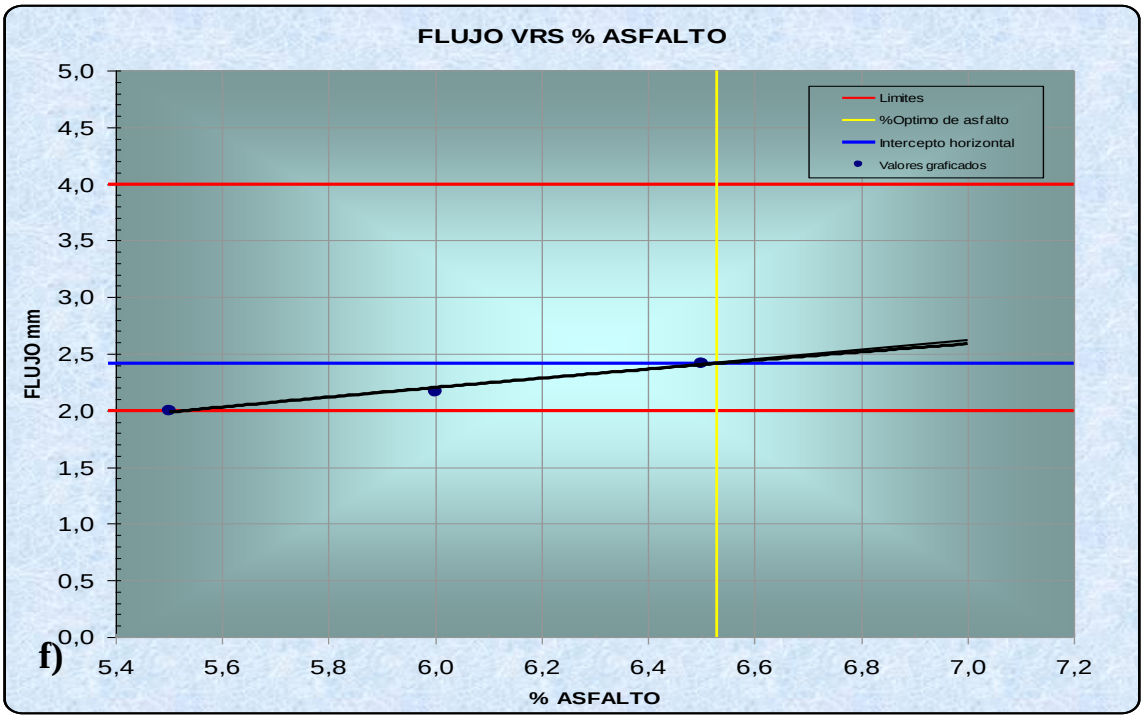


Grafico 4.17

Graficos de los resultados del ensayo Marshall:
e) Estabilidad-contenido de asfalto, f) Flujo-contenido de asfalto.

Las **Gráficas 4.17** proporcionan los resultados de los ensayos Marshall. Cada gráfica tiene trazados los resultados de los diferentes ensayos, los valores de estos resultados están representados por puntos. La primera gráfica muestra los porcentajes de vacíos (**Grafico 4.17 a**); la segunda los porcentajes de vacío en el agregado mineral (VMA) (**Grafico 4.17 b**); la tercera los porcentajes de vacíos llenos de asfaltos (VFA) (**Grafico 4.17 c**); la cuarta Densidad (**Grafico 4.17 d**); la quinta los valores de estabilidad Marshall (**Grafico 4.17 e**) y la sexta los valores de fluencia Marshall (**Grafico 4.17 f**). En cada gráfica, se trazan líneas de tendencia con curvas suavizadas, rechazando los puntos que se encuentren muy dispersos.

Observando las **Graficas 4.17** se puede decir que todos los gráficos presentan la tendencia que se espera para este tipo de análisis.

4.4.7.3 Determinación del contenido óptimo de asfalto

El contenido óptimo de cemento asfáltico para el diseño de mezcla de pavimentación se determina a partir del análisis de los resultados de las **Gráficas 4.17**. El requisito del método Marshall para vacíos en mezclas asfálticas diseñadas en laboratorio es de 3 a 5%, para analizar las gráficas primeramente se obtiene el valor promedio de dichos vacíos que es 4% de vacíos, con este valor son comprobadas todos los parámetros. Trace una línea horizontal (línea azul en **Grafico 4.17a**) que corte el valor de 4% de vacíos en el eje de las ordenadas e intercepte la gráfica, desde este punto de intercepción trace una línea vertical (línea amarilla en **Grafico 4.17a**) que corte el eje horizontal (abscisas) y registre el valor de porcentaje de cemento asfáltico en dicha intersección; el valor determinado de esta forma será tomado como el contenido optimo de cemento asfáltico. Luego, con este contenido óptimo de cemento asfáltico evalúe todas las gráficas para encontrar todos los parámetros de control y luego compárelos con las especificaciones de diseño del método Marshall, para verificar si los valores encontrados cumplen. La manera para encontrar todos los parámetros es trazando una línea vertical desde el contenido óptimo de cemento asfáltico encontrado anteriormente, hasta que esta

línea intercepte la gráfica; luego a partir de esta intercepción trace una línea horizontal que intercepte el eje vertical, de esta manera se pueden obtener cada uno de los parámetros de control que serán comparados con las especificaciones. Si se cumplen todos los criterios de las especificaciones, el contenido de cemento asfáltico encontrado con el cual se evaluaron todos los parámetros en las **Gráficas 4.17**, será considerado el contenido de asfalto óptimo para el diseño de la mezcla. Con uno de los criterios que no cumpla será necesario hacer algunos ajustes como los explicados en la sección 4.2.4 de este capítulo, o volver a rediseñar la mezcla.

Parámetros de diseño encontrados.

Del procedimiento de análisis de la **Gráficas 4.17a**, se obtuvieron los siguientes datos: para un contenido de 4% de vacíos se determino un **6.53 %** de cemento asfáltico, luego con este contenido de cemento asfáltico se determinaron los valores de las otras propiedades:

Cemento asfáltico = **6.53 %**
Porcentaje de VMA (Grafico 4.17 b) = 16.70%
Porcentaje de VFA (Grafico 4.17 c) = **77.3%**
Densidad (Grafico 4.17 d) = 2295.50 Kg/m^3
Estabilidad (Grafico 4.17 e) = 1756.5.0 Kg
Fluencia (Grafico 4.17 f) = 2.42 mm

Ahora los valores determinados mediante el análisis de los **Gráficos 4.17**, son comparados con los valores recomendados por el Instituto del Asfalto (U.S.A.) en los criterios de diseño Marshall mostrados en la **Tabla 4.6**; la **Tabla 4.37** contiene un resumen de la comparación entre los valores obtenidos a partir de los gráficos y los establecidos en el diseño Marshall.

Tabla 4.37 **Comparación entre los datos obtenidos y los criterios del método Marshall**

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	VALORES OBTENIDOS	TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
		MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	-	75	75
Estabilidad, Kg	1756.5	816	-
Flujo, mm	2.42	2	4
% de vacíos	4	3	5
% VMA	16.70	Para 4.0% de contenido de vacíos. Se toma un valor mínimo de 14% para agregado de ½", según tabla 4.7	
% VFA	77.3	65	75

De la **Tabla 4.37** se puede observar que todos los valores cumplen con los criterios de diseño Marshall, excepto el valor de VFA de 77.3%, el cual es mayor que el máximo establecido de 75%, (ver **Grafico 4.17c**), **por lo que se concluye que esta dosificación de agregados 1/2"-1/4" 40%, 1/2"- 0 32% y arena 28%, no cumple**.

En un diseño de mezcla asfáltica debe de existir una dosificación apropiada tanto de agregados como de asfalto, además la película de asfalto que recubre las partículas de agregado debe de tener un espesor adecuado, no debe ser ni muy delgada porque se envejecería rápido, esto sería un valor de VFA menor a 65%, ni muy gruesa porque ocasionaría exudación de asfalto en la mezcla compactada, esto equivaldría a un valor de VFA mayor que 75%.

Por lo tanto el asfalto efectivo es el que recubre a las partículas de agregado con un espesor adecuado, con el cual se garantiza una buena durabilidad de la mezcla, resistencia, flexibilidad y estabilidad, es aquel porcentaje de cemento asfáltico que permite tener un VFA en el rango de 65 a 75%.

A continuación se muestra un cuadro resumen en la **Tabla 4.38** de todos los parámetros analizados en el método de diseño Marshall.

En vista de que los requisitos no se cumplieron en cuanto a los vacíos llenos de asfalto (VFA), el procedimiento de diseño dicta que se pueden realizar ajustes a la granulometría, dichos procedimientos han sido explicados en la sección 4.2.5, que al final estos ajustes terminan en la determinación de nuevos porcentajes de agregados con los cuales se hacen nuevas dosificaciones elaborándose nuevas briquetas y volviendo a realizar el procedimiento de diseño Marshall y su respectivo análisis de los resultados, hasta que después de una serie de ensayos repetitivos y correcciones en la granulometría de diseño se logran cumplir todos los requisitos para el diseño Marshall; este procedimiento es bastante tedioso y muy largo, ya que es muy difícil establecer una formula de trabajo de un diseño de mezcla al primer intento de dosificación de agregados y siempre habrá que hacer más de un diseño Marshall con distintos ajustes en su granulometría. De aquí que la experiencia de los diseñadores juega un papel fundamental a la hora de tomar desiciones con respecto al tipo de ajuste que debe hacerse a los agregados después de examinar los primeros resultados del método Marshall.

Se tomo la decisión de cambiar especificación granulométrica y se opto por la “E” (**Tabla 4.17**), que también es para un tamaño máximo nominal de 1/2 pulgada, teniendo en cuenta que es necesario establecerla ya que dicha especificación no proporciona los rangos de porcentaje que debe pasar para los tamices que contempla dicha especificación; también es necesario encontrar otras nuevas dosificaciones para los agregados, dicho proceso se explica a continuación.

Tabla 4.38

CUADRO RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, 1/2", CON GRANULOMETRIA TIPO "D" DE LA SIECA.

No. de golpes de martillo: 75 **Cemento Asfáltico: 60-70**

Grav. Esp. del cemento asfáltico: 1.011 **Grav. Esp. Promedio de Agregados: 2.575**

Probeta No.	% C.A.	Masa de probetas en gramos			Volumen (cm^3)	Grav. Esp. Bulk	Grav. Esp. T. Máxima	Densidad (Kg/m^3)	% Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (Kg)		Flujo 0.01" (0.25 mm)
		Seca (g)	SSS (g)	Sumergida (g)								Medida	Corregida	
1	5.5	1229.0	1229.8	682.1	547.7	2.244						665	1542	2.00
2	5.5	1227.8	1228.2	686.0	542.2	2.264						678	1643	2.00
3	5.5	1232.5	1233.7	681.6	552.1	2.232						660	1531	2.00
Promedio						2.238	2.417	2,238	7.4	17.87	58.59		1572	2.00
1	6.0	1225.2	1226.3	680.8	545.5	2.246						673	1631	2.00
2	6.0	1224.7	1226.4	675.0	551.4	2.221						640	1485	2.25
3	6.0	1224.2	1225.3	679.9	545.4	2.245						655	1587	2.25
Promedio						2.245	2.395	2,245	6.2	18.05	65.65		1568	2.17
1	6.5	1231.9	1233.6	694.5	539.1	2.285						725	1756	2.50
2	6.5	1227.9	1229.2	696.8	532.4	2.306						725	1813	2.50
3	6.5	1227.2	1228.4	692.5	535.9	2.290						700	1696	2.25
Promedio						2.294	2.378	2,294	3.6	16.7	78.44		1755	2.42
1	7.0	1224.4	1224.8	698.0	526.8	2.324						700	1751	2.00
2	7.0	1214.6	1216.1	687.6	528.5	2.298						700	1751	2.00
3	7.0	1222.6	1224.2	692.0	532.2	2.297						700	1751	2.00
Promedio						2.298	2.360	2,298	2.6	17.00	84.71		1751	2.00

Prueba de diseño de mezcla asfáltica con especificación granulométrica tipo "E"

El proceso es repetitivo como se explicó anteriormente, mediante una serie de pruebas, al final se encontraron los nuevos porcentajes para cada uno de los tres agregados que se utilizan en el diseño, observándose en dichos valores una reducción evidente en la cantidad de agregado fino utilizado en la mezcla total, dando las siguientes dosificaciones:

- Agregado Grueso de ½" a ¼" un 40%,
- Agregado Intermedio de ¼" a 0 un 43% y
- Arena un 17%,
- Especificación Granulométrica tipo "E" de las especificaciones SIECA.

En la **Tabla 4.39** se presentan los resultados del cálculo de los nuevos porcentajes de agregados en base a la granulometría que tiene cada uno.

Tabla 4.39 **Combinación Teórica de los Agregados, Granulometría tipo "E" de la SIECA.**

Tamaño del tamiz (mm)		19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Designación del tamiz		3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
Especificación FP "E"		**100**	**97-100**	***(±5)**	***(±6)**	***(±6)**	-	***(±4)**	***(±3)**	-	**3-8(±2)**
promedio		**100**	**98,5**	-	-	-	-	-	-	-	**5,5**
Tipos de agregados		Porcentajes pasantes de cada agregado									
Agregado 1/2"-1/4"		100	99	77	6	1	0	0	0	0	0,2
Agregado 1/4"-0"		100	100	100	92	55	35	25	19	15	12,0
Arena		100	100	100	99	90	74	55	31	16	10,0
Tipos de agregados	% de cada agregado	Porcentajes pasantes calculados de cada agregado									
Agr. 1/2" - 1/4"	40	40	40	31	2	0	0	0	0	0	0,1
Agr.1/4" - 0	43	43	43	43	40	24	15	11	8	6	5,2
Arena	17	17	17	17	17	15	13	9	5	3	1,7
Granulometría mezclada Σ		**100**	**100**	**91**	**59**	**39**	28	**20**	**14**	9	**6,9**
* El contratante especifica el rango de valores y límites											

Con los valores de la fila granulometría mezclada (valores calculados) se establecen los rangos de la especificación granulométrica para cada tamiz, aplicando al valor de cada tamiz las tolerancias establecidas por la especificación "E", mediante este procedimiento se elaboran los rangos para todos los tamices, los cuales contiene la **Tabla 4.40**.

Tabla 4.40 **Se muestra la banda de trabajo para la comprobación granulométrica para la especificación tipo "E" de la SIECA**

Tamaño del tamiz (mm)	Designación del tamiz	Especificación tipo "E"	Granulometría mezclada, %	Banda de trabajo, %
19	3/4"	**100**	**100**	100
12,5	1/2"	**97-100**	**100**	97-100
9,5	3/8"	***(±5)**	**91**	86-96
4,75	No.4	***(±6)**	**59**	53-65
2,36	No.8	***(±6)**	**39**	33-45
0,6	No.30	***(±4)**	**20**	16-24
0,3	No.50	***(±3)**	**14**	11-17
0,075	No.200	**3-8(±2)**	**6,9**	3-8

La banda de trabajo presentada en la **Tabla 4.40** es preliminar, puesto que la banda definitiva (especificación) es la que se establece a partir de los promedios de las granulometrías realizadas al agregado extraído, y es en este caso en particular que es evidente la importancia de realizar los análisis granulométricos (ensayo No. 25) al agregado que se le hace la extracción de ligante asfáltico.

Una vez que se ha obtenido la dosificación respectiva de los tres agregados se realiza la comprobación granulométrica según la especificación tipo "E", de la cual se elabora la **Gráfica 4.18**, los valores utilizados para trazar dicha gráfica se muestran en la **Tabla 4.41.**

Tabla 4.41 **Datos de comprobación granulométrica para la elaboración de gráfica 4.15.**

Peso inicial sin lavar	2290 g			Peso de material fino por lavado	137g
Peso inicial lavado	2153 g				
Abertura del tamiz (mm)	**tamiz**	**Peso retenido (g)**	**% retenido**	**% acumulado**	**% que pasa**
19.0	3/4”	0.0	0	0	100
12.5	1/2”	39.4	2	2	98
9.5	3/8”	201.6	9	11	89
4.75	No.4	799.0	35	45	55
2.36	No.8	451.8	20	65	35
1.18	No.16	129.8	6	71	29
0.6	No.30	166.8	7	78	22
0.3	No.50	229.3	10	88	12
0.15	No.100	99.0	4	92	8
0.075	No.200	13.6	0.6	93.0	7.0
	Pasa No. 200	159.7	7.0	100.0	
	Σ	**2290.0**			

Los nuevos porcentajes de cemento asfáltico para las dosificaciones de los diferentes puntos de diseño de mezcla son: **4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%**.

Con estos puntos se realizan los cálculos para las tres briquetas, una muestra para ensayo de Gravedad Específica Teórica Máxima y extracción.

Calculándose en primer lugar los porcentajes para cada fracción de agregados, según lo recomendado por AASHTO T 245, mostrándose los resultados en la **Tabla 4.42**

Tabla 4.42 **Porcentajes Calculados para cada Fracción de Agregado**

Pasa la malla	**Se retiene en malla**	**Operación**	**% de la fracción**
3/4”	3/8”	100 - 89	11
3/8”	No. 4	89 - 55	34
No.4	No. 8	55 - 35	20
Pasa la malla No. 8		35	

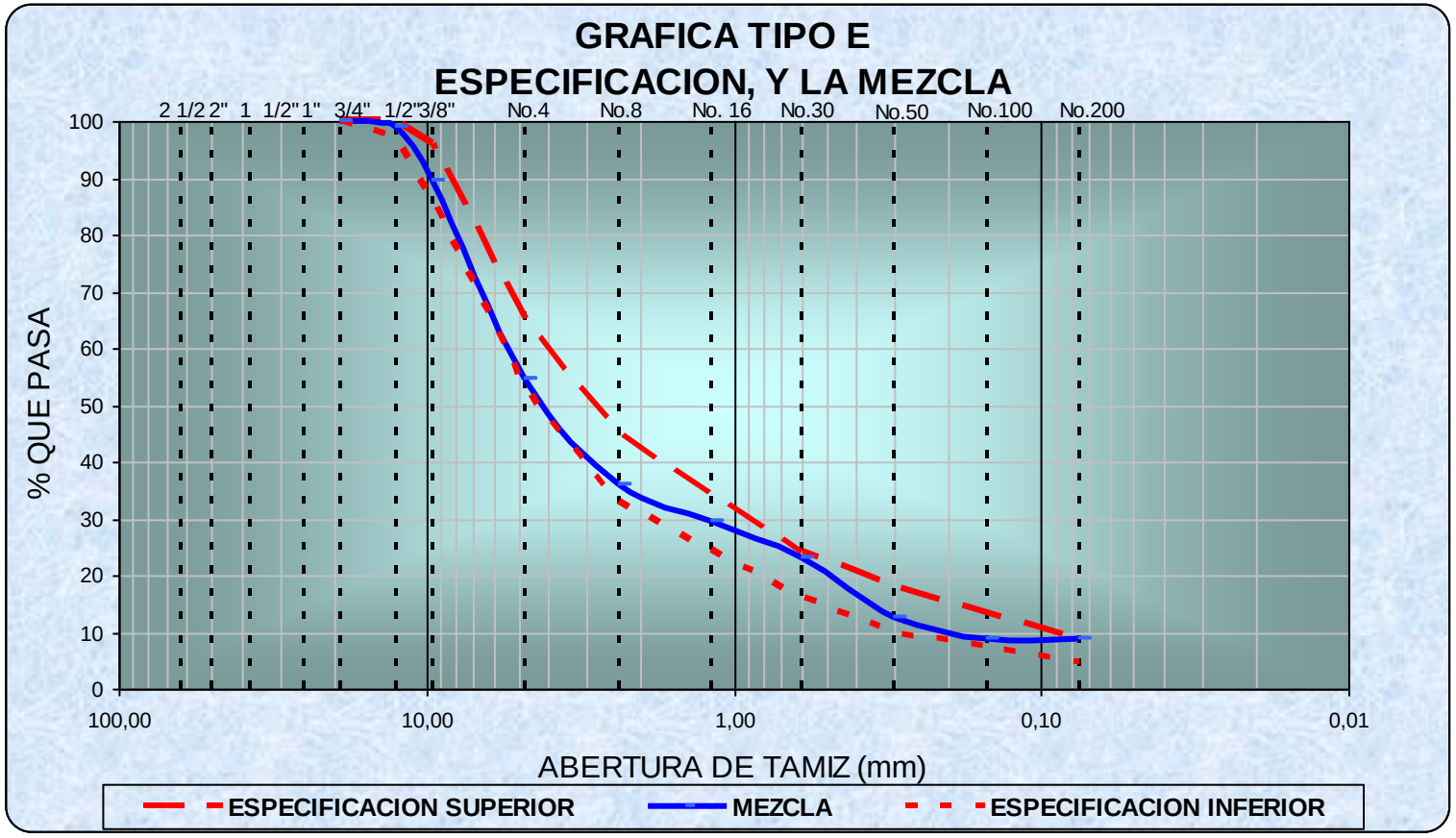


Grafico 4.18 **Comprobación granulométrica de combinación de agregados FP tipo "E"**

Cálculos para las dosificaciones para Teóricas Máximas y Briquetas

Se obtienen los resultados que se muestran en las **Tabla 4.43 y 4.44**.

Tabla 4.43 **Dosificaciones para Teórica Máxima con un Peso Aproximado de 1500.0 g**

% C.A	% Agregado	Asfalto (g)	Agregado (g)	Fracciones de Agregado (g)			
				3/4-3/8 11%	3/8-No.4 34%	No.4-No.8 20%	Pasa No.8 35%
4.5	95.5	67.5	1432.5	157.6	487.0	286.5	501.4
5.0	95.0	75.0	1425.0	156.7	484.5	285.0	498.8
5.5	94.5	82.5	1417.5	156.0	482.0	283.5	496.0
6.0	94.0	90.0	1410.0	155.1	479.4	282.0	493.5
6.5	93.5	97.5	1402.5	154.3	476.8	280.6	490.8

Tabla 4.44 **Dosificaciones para Briquetas con un Peso Aproximado de 1200.0 g**

% C.A	% Agregado	Asfalto (g)	Agregado (g)	Fracciones de Agregado (g)			
				3/4-3/8 11%	3/8-No.4 34%	No.4-No.8 20%	Pasa No.8 35%
4.5	95.5	54.0	1146.0	126.1	389.6	229.2	401.1
5.0	95.0	60.0	1140.0	125.4	387.6	228.0	399.0
5.5	94.5	66.0	1134.0	124.7	385.5	226.8	397.0
6.0	94.0	72.0	1128.0	124.1	383.5	225.6	394.8
6.5	93.5	78.0	1122.0	123.4	381.5	224.4	392.7

Con estos pesos se dosifican las cantidades de briquetas, teóricas máxima, también hay que dosificar según la cantidad estipulada las cantidades para extracción, todo esto como se explica en la sección 4.4.5, el calculo para la dosificación para extracción de ligante asfáltico es igual que para una briqueta todo depende del tamaño de la muestra que se desea, la mezcla se puede hacer a mano cada uno ó en una sola dosificación en una mezcladora, la cual resulta una mejor opción. Posteriormente se elabora la mezcla a la temperatura que ha sido estipulada, según las viscosidades de la carta viscosidad-temperatura, que para nuestro caso fue de una temperatura promedio de 154ºC y la compactación a 142ºC.

Después de esto se procede a realizar los ensayos Marshall en el mismo orden que se mencionó anteriormente en el diseño con especificación granulométrica Tipo "D":

- Estabilidad y Flujo, AASHTO T 245 (Ensayo No. 22)
- Gravedad Específica Teórica Máxima, AASHTO T 209 (Ensayo No. 23)
- Gravedad Específica Bulk, AASHTO T 166 (Ensayo No. 24)

Con la excepción que hoy si es completamente necesario realizar el ensayo granulométrico al agregado extraído, lo que implica que se tiene que hacer previamente el ensayo de extracción de asfalto.

- Extracción Cuantitativa de Ligantes Asfálticos, Ensayo No. 25 (en base a AASHTO T 164)
- Análisis Granulométrico del Agregado Extraído, Ensayo No. 26 (en base a AASHTO T 30)

La obligada de realizar el ensayo No. 25, se fundamenta en la necesidad que se tiene de establecer la banda de control para todos los tamices que contempla la especificación Tipo "E", para ello es primordial que de todos los ensayos de agregado extraído se obtenga para cada tamiz un valor promedio, ya que es a dicho promedio que se le aplica la tolerancia permitida para establecer el rango de cada tamiz.
Además dichos ensayos de cierta forma comprueban si la combinación de agregados reproducirá granulometrías semejantes para cada dosificación.

De la realización de los ensayos en laboratorio con una dosificación de agregados de 40%, 43% y 17% para agregado grueso, intermedio y arena respectivamente, se tienen los resultados de gravedad específica bulk, **Tabla 4.45**, gravedad esp. Teórica máxima, **Tabla 4.46**; estabilidad y flujo, **Tabla 4.47**; extracción, **Tabla 4.48** y granulometría de agregado extraído, **Tabla 4.49**:

Gravedad específica bulk de la briqueta

Tabla 4.45 **Valores para el Cálculo de Gravedad Específica Bulk**

Porcentaje de asfalto	4.5%			5.0%		
Número de briqueta	1	2	3	1	2	3
Peso seco en aire, g	1205.7	1214.2	1211.3	1225.3	1218.5	1224.1
Peso superficialmente seco saturado, g	1211.8	1224.3	1213.9	1234.5	1225.7	1229.9
Peso en agua, g	664.0	671.7	660.0	697.7	697.4	697.2
Grav. Específica bulk ($\mathbf{G_{mb}}$)	2.201	2.197	2.187	2.283	2.306	2.298
Promedio	2.195			2.296		
Porcentaje de asfalto	5.5%			6.0%		
Número de briqueta	1	2	3	1	2	3
Peso seco en aire, g	1215.3	1207.6	1218.6	1213.6	1209.3	1210.5
Peso superficialmente seco saturado, g	1220.5	1217.2	1226.6	1223.9	1217.1	1215.2
Peso en agua, g	700.5	698.9	701.3	702.8	703.3	700.7
Grav. Específica bulk ($\mathbf{G_{mb}}$)	2.337	2.330	2.320	2.329	2.354	2.353
Promedio	2.329			2.345		
Porcentaje de asfalto	6.5%					
Número de briqueta	1	2	3			
Peso seco en aire, g	1209.8	1215.3	1211.3			
Peso superficialmente seco saturado, g	1211.8	1216.4	1215.2			
Peso en agua, g	686.5	697.90	692.6			
Grav. Específica bulk ($\mathbf{G_{mb}}$)	2.303	2.344	2.318			
Promedio	2.322					

Gravedad Específica Teórica Máxima

Tabla 4.4.6 **Valores para el Cálculo de Gravedad Específica Teórica Máxima**

Contenido de asfalto	**4.5%**		**5.0%**	
Muestra	**1**	**2**	**1**	**2**
Peso del picnómetro + agua, g	11765	11765	11765	11765
Peso de la muestra en el aire, g	2100	2100	2100	2100
Peso del picnómetro + muestra + agua, g	13023	13025	13020	13024
Grav. Esp. Máxima teórica ($\mathbf{G_{mm}}$)	2.494	2.500	2.485	2.497
Promedio	2.497		2.491	
Contenido de asfalto	**5.5%**		**6.0%**	
Muestra	**1**	**2**	**1**	**2**
Peso del picnómetro + agua, g	11765	11765	11765	11765
Peso de la muestra en el aire, g	2100	2100	2100	2100
Peso del picnómetro + muestra + agua, g	13011	13013	13000	12998
Grav. Esp. Máxima teórica ($\mathbf{G_{mm}}$)	2.459	2.465	2.428	2.422
Promedio	2.462		2.425	
Contenido de asfalto	**6.5%**			
Muestra	**1**	**2**		
Peso del picnómetro + agua, g	11765	11765		
Peso de la muestra en el aire, g	2100	2100		
Peso del picnómetro + muestra + agua, g	12983	12981		
Grav. Esp. Máxima teórica ($\mathbf{G_{mm}}$)	2.381	2.376		
Promedio	2.378			

Estabilidad y flujo

Tabla 4.47 **Valores de Estabilidad y Flujo para Especificación tipo "E" de la SIECA**

Briqueta	Volumen cm^3	Corrección	Flujo (mm)	Lectura estabilidad	Estabilidad (Kg)	Estabilidad Corregida (Kg)
I	547.8	0.89	1.50	651	1697	1510
II	552.6	0.89	1.75	644	1678	1494
III	553.9	0.89	1.50	650	1694	1508
Promedio			1.58			1504
I	536.8	0.93	1.75	700	1823	1696
II	528.3	0.96	2.00	689	1795	1723
III	532.7	0.96	2.00	693	1805	1733
Promedio			1.92			1717
I	520.0	1.00	2.25	676	1761	1761
II	518.3	1.00	2.25	689	1795	1795
III	525.3	0.96	2.50	714	1860	1785
Promedio			2.33			1781
I	521.1	1.00	2.75	651	1697	1697
II	513.8	1.00	2.75	669	1743	1743
III	514.5	1.00	3.00	654	1704	1704
Promedio			2.83			1715
I	525.3	0.96	3.00	594	1549	1487
II	518.5	1.00	3.00	581	1515	1515
III	522.6	1.00	3.25	580	1513	1513
Promedio			3.08			1505

Extracción

Tabla 4.48 **Valores de Extracción de Cemento Asfáltico para Mezclas con Especificación tipo "E" de la SIECA**

Porcentaje de asfalto añadido, %	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Peso antes de extracción, g	1700	1700	1700	1700	1700
Peso después de extracción, g	1624.7	1614.2	1604.9	1598.3	1590.4
Peso inicial de filtro, g	19.8	19.8	19.9	19.8	19.9
Peso de filtro después de extracción, g	22.0	21.6	21.8	22.0	22.0
Peso del agregado retenido, g	2.2	1.8	1.9	2.2	2.1
Peso total de los agregados extraídos, g	1626.9	1616.0	1606.8	1600.5	1592.5
Porcentaje de asfalto extraído, %	4.3	4.9	5.5	5.9	6.3

La importancia de comprobar si en cada bachada, con una dosificación específica de cemento asfáltico, se logra obtener un valor de asfalto extraído que este en el rango aceptable de: valor de cemento asfáltico dosificado ± 0.5% como lo establece SIECA se cumple. De ser así se tiene la seguridad que cuando se produzca en planta la dosificación de asfalto en la mezcla cumplirá el requisito de tolerancia.

Granulometría de agregado extraído

Tabla 4.49 **Valores de granulometrías después de extracción, según especificación tipo "E" de la SIECA**

Tamaño de tamiz	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	Promedio	Especificación tipo "E"	Banda de trabajo	
								Limite inferior	Limite superior
3/4"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	100	100	100	100	100	100	97-100	97	100
3/8"	89	92	87	89	88	89	* (±5)	84	94
No. 4	56	57	55	56	56	56	* (±6)	50	62
No. 8	41	41	41	42	40	41	* (±6)	35	47
No. 30	24	24	24	25	23	24	* (±4)	20	28
No. 50	17	17	16	17	18	17	* (±3)	14	20
No. 200	7.5	7.6	7.3	7.6	7.5	7.5	3-8 (±2)	5.5	9.5

* El contrante especifica los valores. ( ) Los valores entre paréntesis son las tolerancias de la especificación.

Con el valor promedio de los porcentajes que pasan de cada tamiz para cada dosificación de asfalto se aplica la tolerancia de la especificación, obteniendo de esta forma el rango de control para cada tamiz, formándose de esta forma la banda de control (banda de trabajo) para la Especificación Granulométrica Tipo "E".

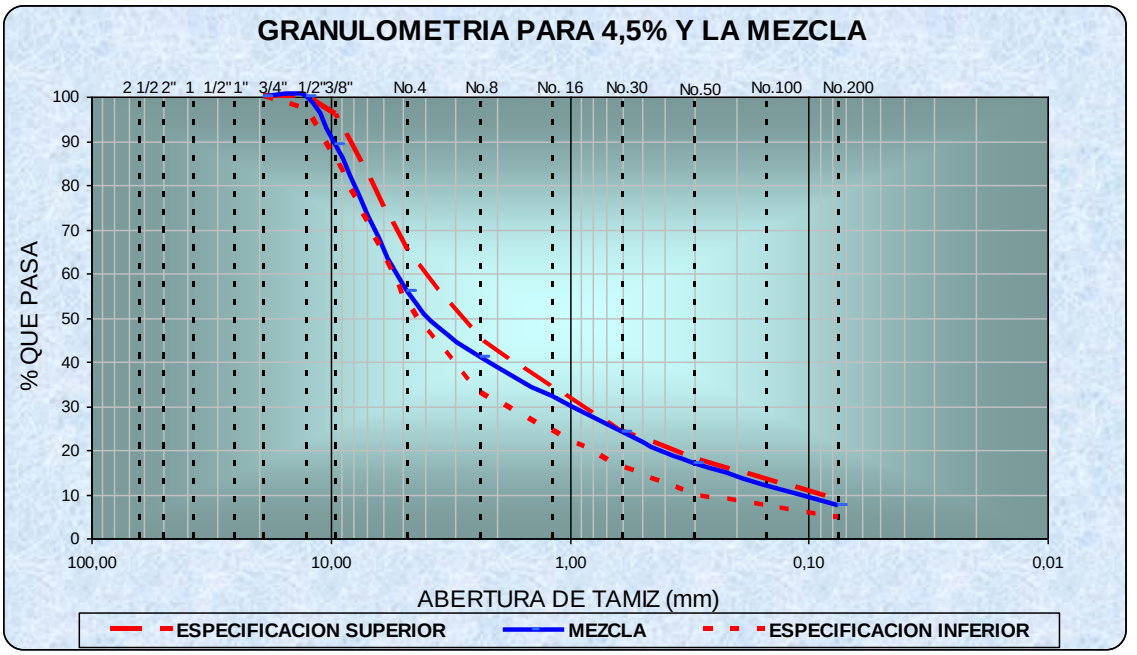
Ejemplo para el valor promedio del tamiz de 3/8 pulgada:

Valor promedio = 89
Tolerancia = ± 5
Límite inferior = 89 – 5 = 84
Límite superior = 89 + 5 = 94

Y así sucesivamente se calculan los otros rangos para los tamices restantes.

Cada empresa puede reducir o ampliar de alguna manera el rango para uno o más tamices y establecer de esta forma su especificación, esto dependerá del agregado que produzcan en la planta trituradora, ya realmente lo que se busca en todo diseño es tener una reproducibilidad de la granulometría cuando se produzca mezcla en la planta.

Las curvas granulométricas según los valores de la **Tabla 4.49** se muestran en los **Gráficos 4.19**.



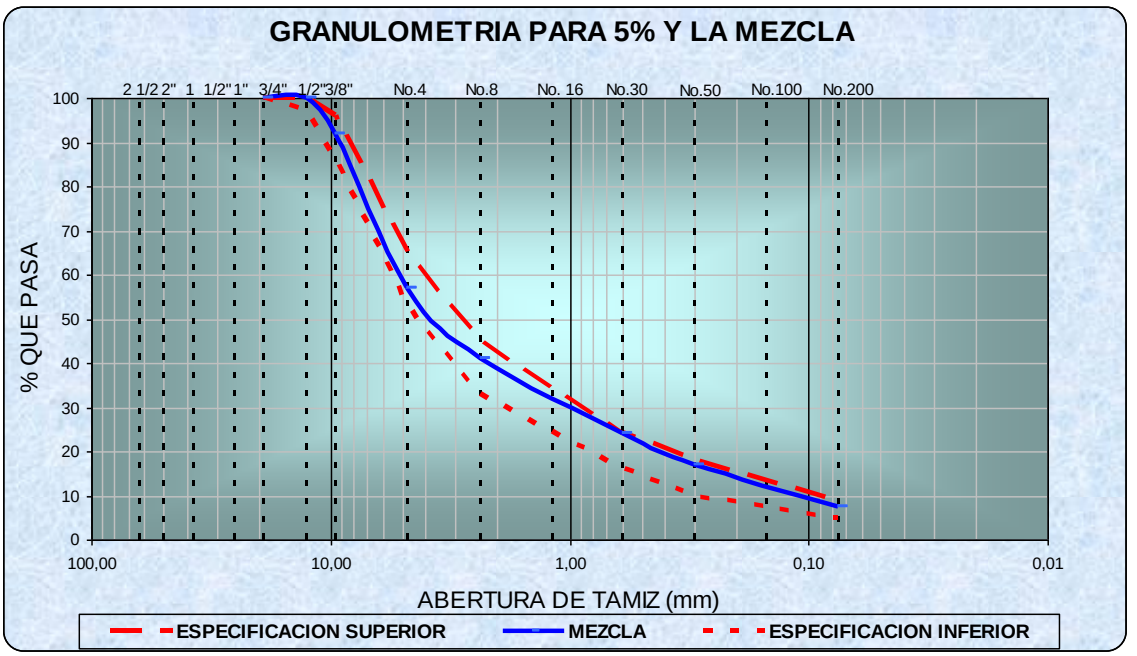
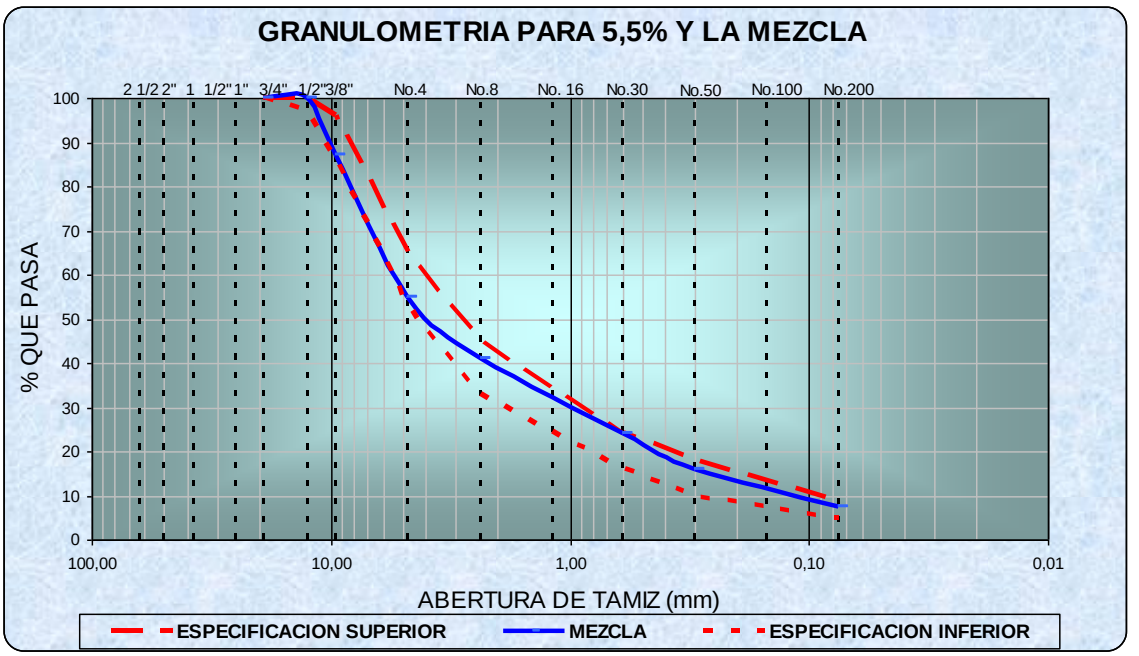


Grafico 4.19

Graficos de granulometría de agregado extraído:
a) Para un contenido de 4.5% de asfalto, b) para un contenido de 5.0% de asfalto



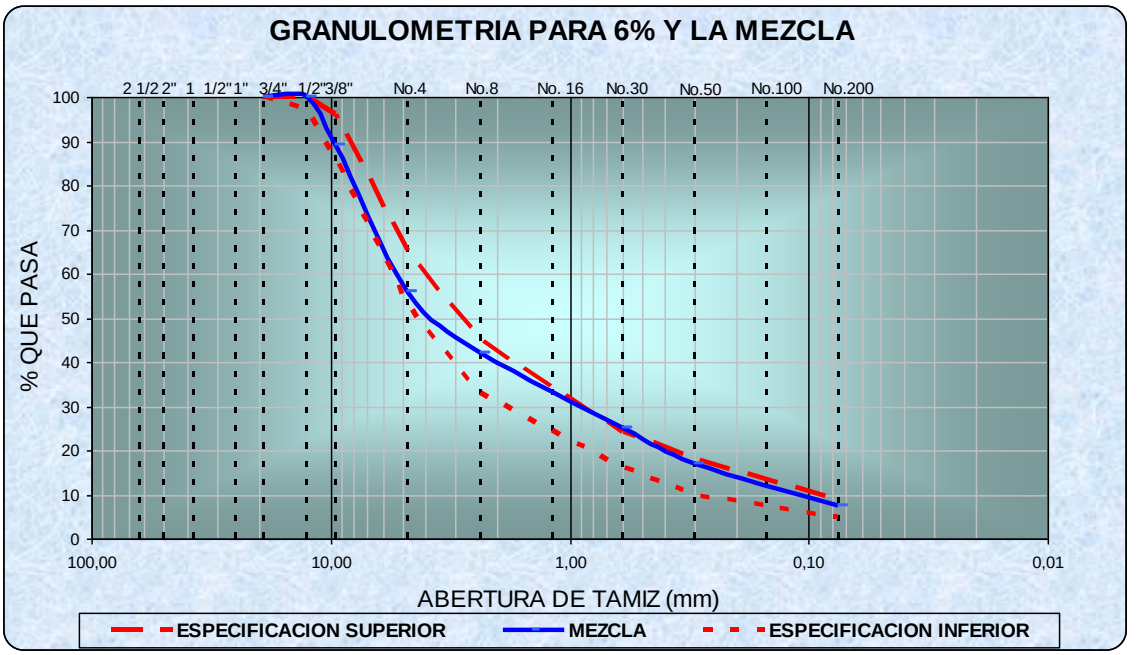


Grafico 4.19

Graficos de granulometría de agregado extraído:
c) Para un contenido de 5.5% de asfalto, d) para un contenido de 6.0% de asfalto

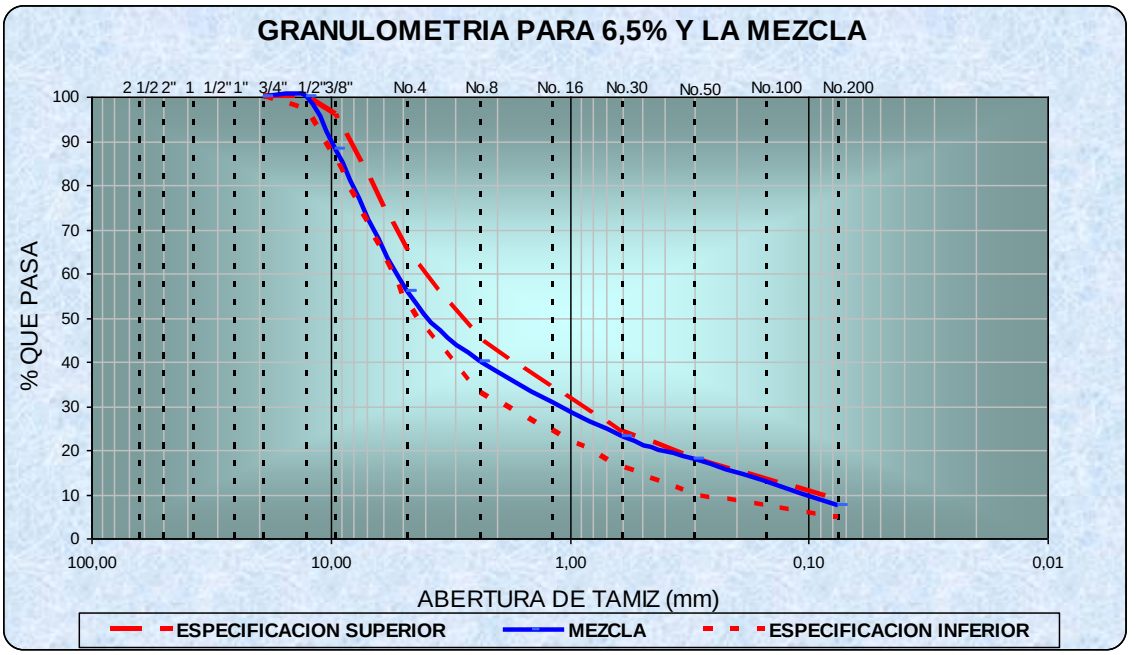


Grafico 4.19 **Gráficos de granulometría de agregado extraído: e) Para un contenido de 6.5% de asfalto**

4.4.8 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

Después del trabajo de laboratorio y sus respectivos cálculos se procede con el análisis de densidad y vacíos, presentando los resultados de la tabla 4.50:

Análisis de densidad y porcentaje de vacíos

Tabla 4.50 **Resumen de valores de Grav. Esp. Bulk y Grav. Esp. Teórica Máxima y Porcentaje de Vacíos.**

Contenido de asfalto	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
Grav. Esp. Teórica Máxima	2.497	2.491	2.462	2.425	2.378
Grav. Esp. Bulk	2.195	2.296	2.329	2.345	2.322
Densidad (Kg/m^3)	2,195	2,296	2,329	2,345	2,322
%Vacíos	12.1	7.8	5.4	3.3	2.4

Análisis de los vacíos en agregado mineral (VMA)

Para el análisis de vacíos en agregado mineral se presentan los valores de la **Tabla 4.51**

Tabla 4.51 **Valores para el Cálculo del Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (%VMA).**

Contenido de asfalto	**4.5%**	**5.0%**	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**
Porcentaje de agregado	95.5%	95.0%	94.5%	94.0%	93.5%
Grav. Esp. Bulk de la briqueta	2.195	2.296	2.329	2.345	2.322
Grav. Esp. Bulk de la combinación de agregados	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616
%VMA	19.91	16.63	15.88	15.75	17.05

Para el cálculo de la gravedad Específica bulk de la combinación de agregados se utilizaron las dosificaciones de agregados ½"-1/4" 40%, ¼"- 0 43% y de arena 17% con las siguientes gravedades específicas para cada tipo de agregado: ½"-1/4" = 2.649, ¼"-0 = 2.707 y arena = 2.349.

Análisis de vacíos llenos de asfalto (VFA)

Finalmente se calculan los vacíos llenos de asfalto obteniéndose los resultados contenidos en la **Tabla 4.52**

Tabla 4.52 **Valores para el Cálculo del Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (%VFA).**

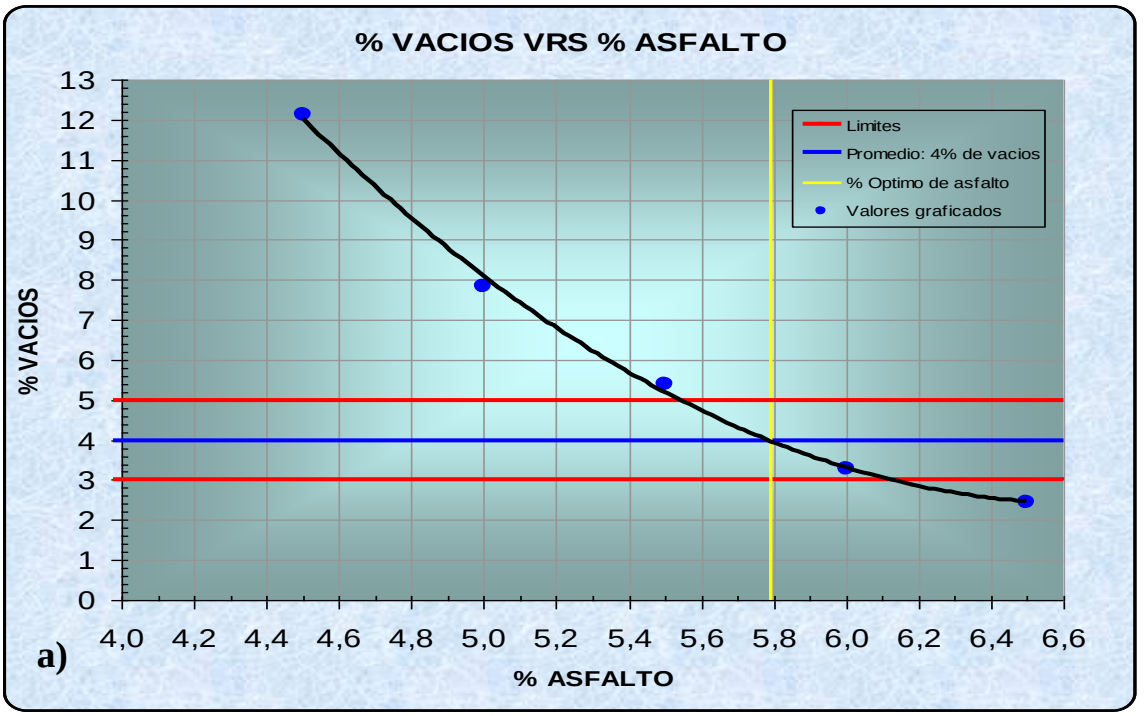
Contenido de asfalto	**4.5%**	**5.0%**	**5.5%**	**6.0%**	**6.5%**
Vacíos en agregado mineral (**VMA**), %	19.91	16.63	15.88	15.75	17.05
Porcentaje de vacíos ($\mathbf{P_a}$), %	12.1	7.8	5.4	3.3	2.4
Vacíos llenos de asfalto (**VFA**), %	39.07	52.93	65.98	79.05	85.70

La elaboración de los gráficos de los ensayos marshall se realiza con los datos contenidos en la **Tabla 4.53**.

Tabla 4.53 **Resumen de valores necesarios para el trazo de las gráficas 4.16.**

Contenido de Asfalto	Densidad (Kg/m^3)	% Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
4.5%	2,195	12.1	19.91	39.07	1504	1.58
5.0%	2,296	7.8	16.63	52.93	1717	1.92
5.5%	2,329	5.4	15.88	65.98	1781	2.33
6.0%	2,345	3.3	15.75	79.05	1715	2.83
6.5%	2,322	2.4	17.05	85.70	1505	3.08

Ahora se muestran las gráficas del ensayo Marshall para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico y verificar si se cumplen los parámetros, dichas gráficas se muestran en el **Grafico 4.20**.



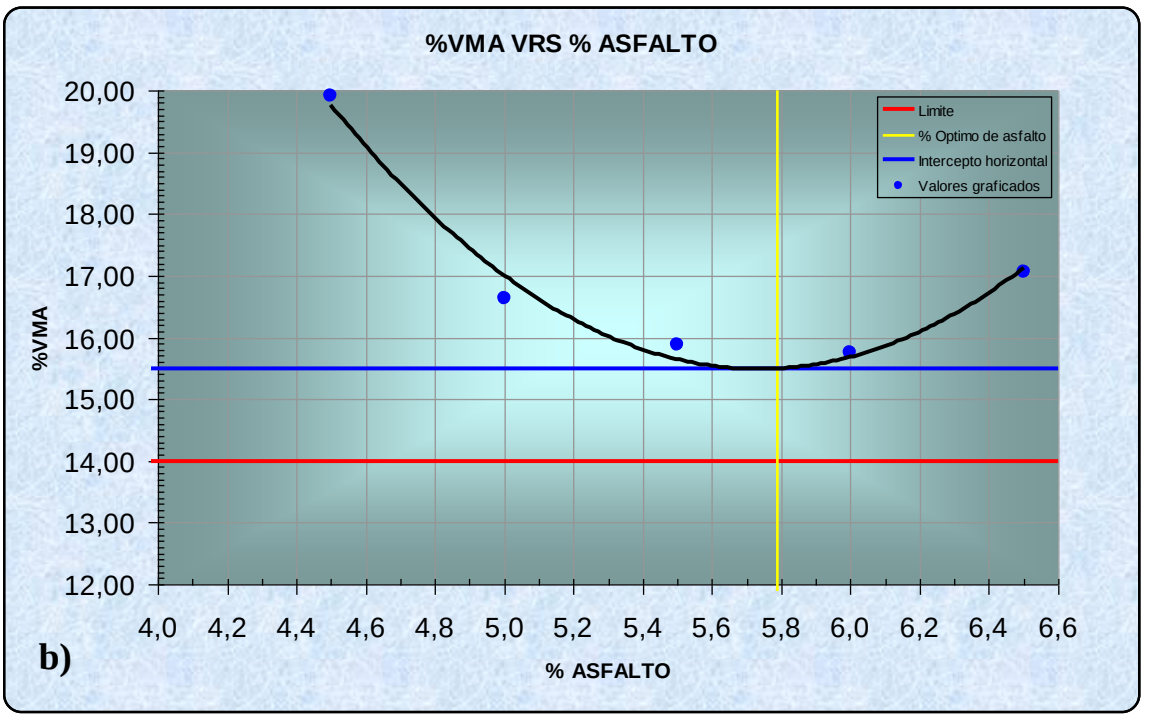
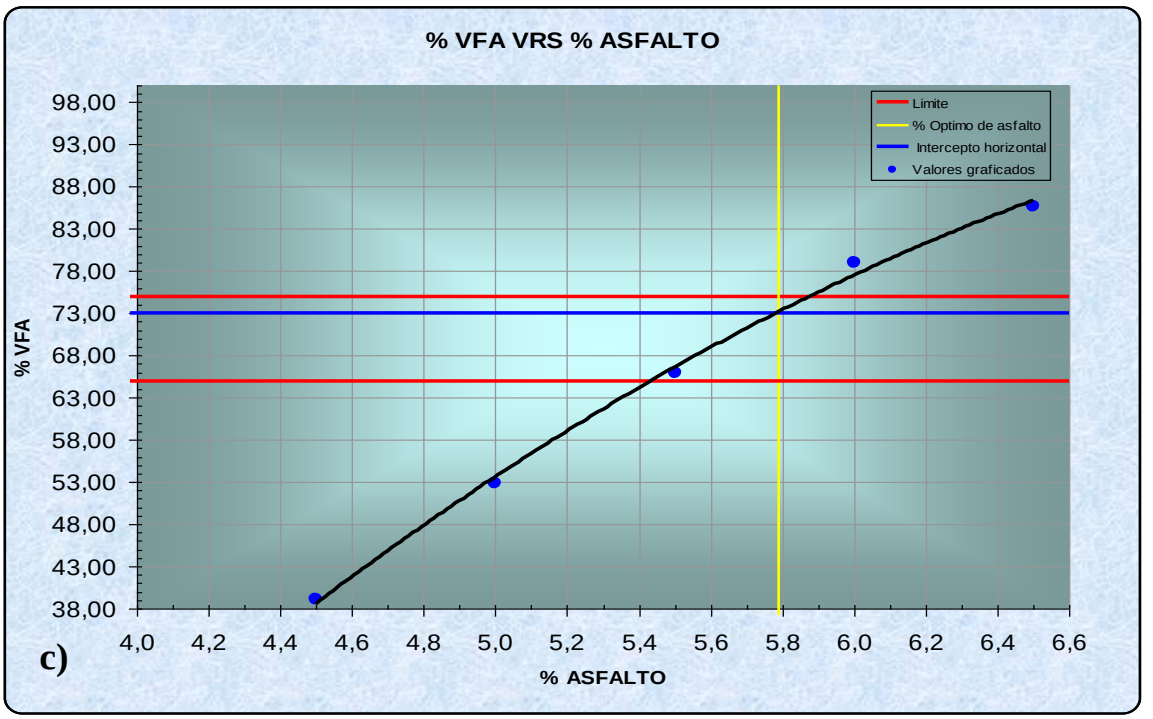


Grafico 4.20

Graficos de los resultados del ensayo Marshall:
a) % vacíos-Contenido de asfalto, b) %VMA-Contenido de asfalto



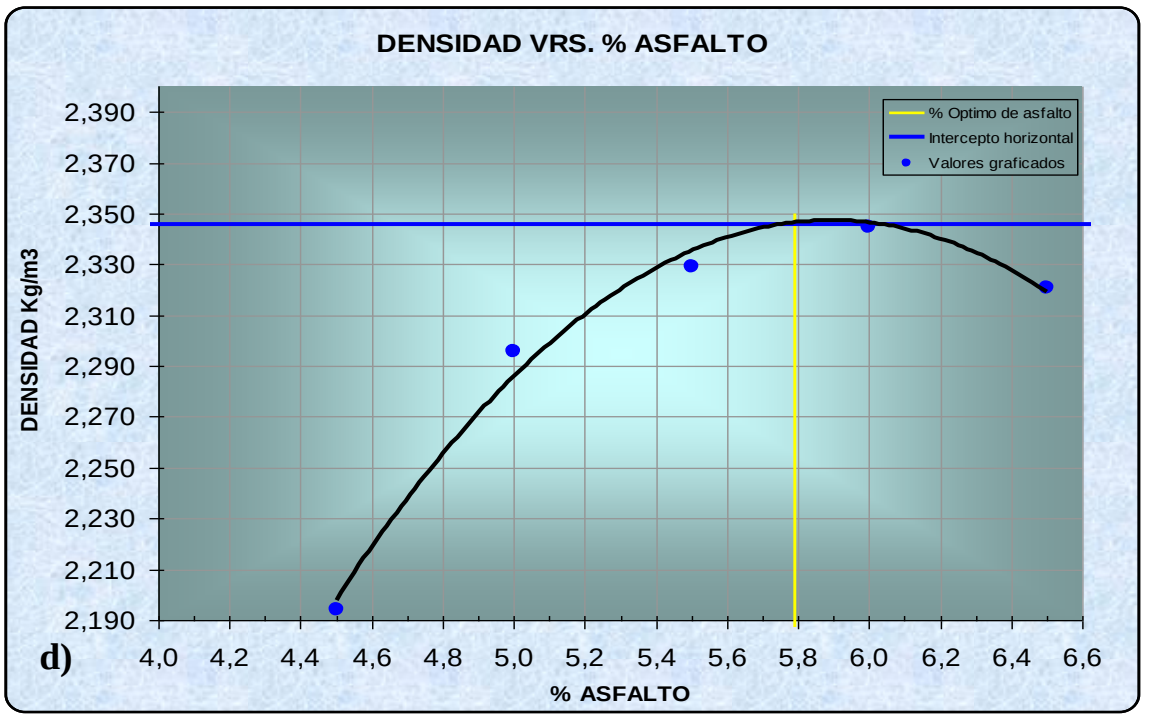
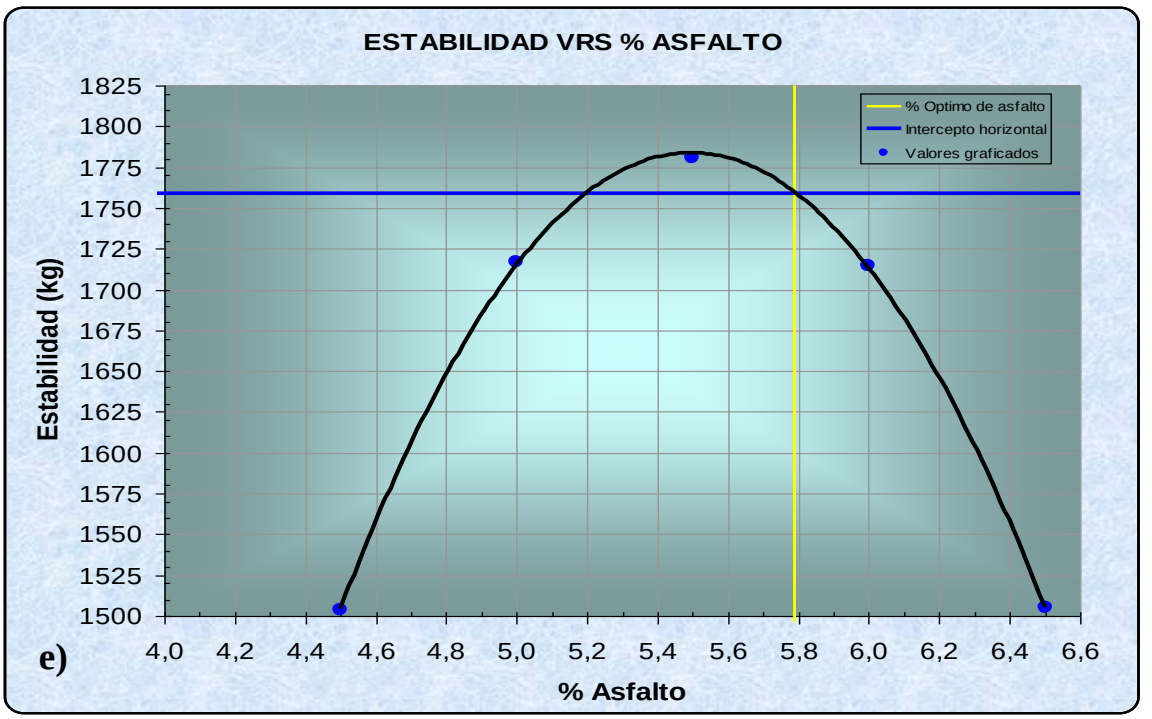


Grafico 4.20 **Graficos de los resultados del ensayo Marshall: c) %VFA-Contenido de asfalto, d) Densidad-Contenido de asfalto**



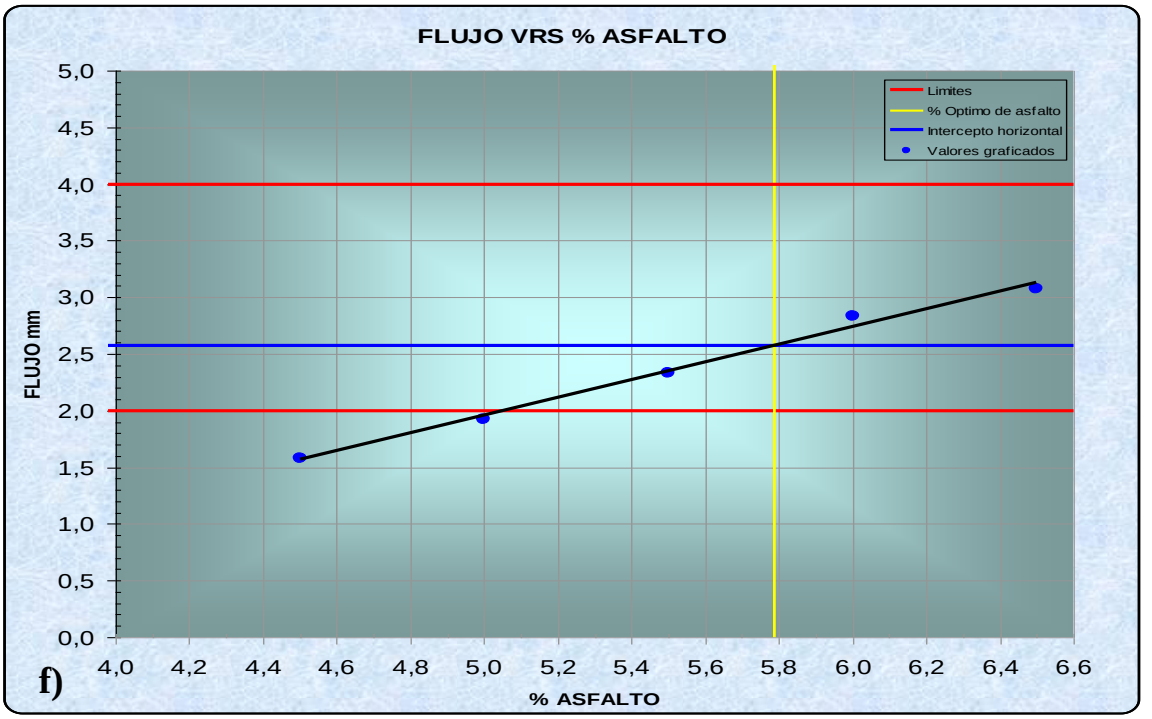


Grafico 4.20

Graficos de los resultados del ensayo Marshall:
e) Estabilidad-Contenido de asfalto, f) Flujo-Contenido de asfalto

DISEÑO

Analizando los datos de las **Gráficas 4.20**, podemos observar que el contenido de asfalto para un contenido de vacíos de 4% es de **5.79%,** luego con este contenido de cemento asfáltico se encontraron los valores de las otras propiedades:

Estabilidad (grafico 4.16 e) = 1759.0 Kg

Fluencia (grafico 4.16 f) = 2.57 mm

Porcentaje de VFA (grafico 4.16 c) = 73.0%

Porcentaje de VMA (grafico 4.16 b) = 15.50%

Densidad (grafico 4.16 d) = 2346.0 Kg/m^3

Tabla 4.54 **Comparación entre los datos obtenidos y los criterios del método Marshall**

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	VALORES OBTENIDOS	TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
		MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	-	75	75
Estabilidad, Kg	1759.0	816	-
Flujo, mm	2.57	2	4
% de vacíos	4	3	5
% VMA	15.50	Para 4.0% de contenido de vacíos. Se toma un valor mínimo de 14% para agregado de ½", según tabla 4.7	
% VFA	73.0	65	75

De la **Tabla 4.54** se puede observar que todos los valores cumplen con los criterios de diseño Marshall, por lo que se concluye que esta dosificación de agregados (1/2"-1/4" 40%, ½"-0 43%, arena 17%) es viable, finalmente se debe de hacer una última dosificación utilizando el porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido de los gráficos **5.79 %** y realizar todos los ensayos marshall para verificar si se cumple la dosificación, a éstos resultados es alo que se le llamará la dosificación de diseño.

La **Tabla 4.55** contiene el resumen de los datos obtenidos de la dosificación de mezcla con 5.79 % de cemento asfáltico

Tabla 4.55 **Parámetros Marshall obtenidos con 5.79% de asfalto**

Parámetro	Especificación del Método	Valor obtenido Con (5.79 % C.A)
Flujo (mm)	2 - 4	2.67
Estabilidad (Kg)	816 mín.	1,863
Gravedad bulk		2.328
Teórica Máxima		2.445
% Vacíos	3 - 5	4.8
% VMA	14.0 mín.	16.40
% VFA	65 - 75	70.82
% Asfalto	± 0.5% según diseño 5.79 % Rango: 5.29 – 6.29%	5.9
Polvo/Asfalto	0.6 – 1.3	1.20

Tabla 4.56 **Granulometría del Agregado extraído y Especificación Granulométrica Tipo "E" con 5.79% de asfalto**

Tamices		Especificación Tipo "E"	Valores Obtenidos de una bachada con 5.79% de C.A.
3/4"	19.00 mm	100	100
1/2"	12.50 mm	97 – 100	100
3/8"	9.50 mm	84 – 94	89
No. 4	4.75 mm	50 – 62	58
No. 8	2.36 mm	35 – 47	41
No. 30	0.60 mm	20 – 28	22
No. 50	0.30 mm	14 – 20	14
No. 200	0.075 mm	5.5 – 9.5	7.1

4.4.9 FORMULA DE TRABAJO

La formula de trabajo es la dosificación con la cual la planta asfáltica produce mezcla asfáltica utilizando las proporciones relativas de materiales que se han establecido en el diseño de laboratorio.

A través del proceso de diseño se determinó la siguiente formula de trabajo:

Cemento asfáltico: 5.79%

Agregados:

Agregado Grueso 1/2”-1/4”: 40%;

Agregado Intermedio 1/2”-0: 43%;

Arena: 17%.

Especificación granulométrica tipo “E” de la SIECA

Con su respectiva banda de control, como se muestra en la **Tabla 4.55**

Tabla 4.55 **Banda de control para la formula de trabajo según especificación tipo “E” de la SIECA**

Designación de tamiz	Tamaño de tamiz (mm)	Especificación, tipo “E” de la SIECA, %	Banda de trabajo	
			Limite superior, %	Limite inferior, %
3/4	19.0	100	100	100
1/2	12.5	97-100	97	100
3/8	9.5	* (±5)	84	94
No. 4	4.75	* (±6)	50	62
No. 8	2.36	* (±6)	35	47
No. 30	0.60	* (±4)	20	28
No. 50	0.30	* (±3)	14	20
No. 200	0.075	3-8 (±2)	5.5	9.5

Rango de temperatura de mezclado en laboratorio: 150 ºC -156 ºC

Rango de compactación en laboratorio: 140 ºC -144 ºC

La **Tabla 4.56** contiene un cuadro resumen de los parámetros utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.56 **CUADRO RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, 1/2", TIPO "E" DE LA SIECA.**

No. de golpes de martillo: 75 **Cemento Asfáltico: 60-70**

Grav. Esp. del cemento asfáltico: 1.011 **Grav. Esp. Promedio de Agregados: 2.616**

Probeta No.	% C.A.	Masa de probetas en gramos			Volumen (cm^3)	Grav. Esp. Bulk	Grav. Esp. T. Máxima	Densidad (Kg/m^3)	% Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (Kg)		Flujo 0.01" (0.25 mm)
		Seca (g)	SSS (g)	Sumergida (g)								Medida	Corregida	
1	4.5	1205.7	1211.8	664.0	547.8	2.201	2.494					651	1510	2.00
2	4.5	1214.2	1224.3	671.7	552.6	2.197	2.500					644	1494	2.00
3	4.5	1211.3	1213.9	660.0	553.9	2.187						650	1508	2.00
Promedio						**2.195**	**2.497**	**2,195**	**12.1**	**19.91**	**39.07**		1504	2.00
1	5.0	1225.3	1234.5	697.7	536.8	2.283	2.485					700	1696	2.00
2	5.0	1218.5	1225.7	697.4	528.3	2.306	2.497					689	1723	2.25
3	5.0	1224.1	1229.9	697.2	532.7	2.298						693	1733	2.25
Promedio						**2.296**	**2.491**	**2,296**	**7.8**	**16.63**	**52.93**		1717	2.17
1	5.5	1215.3	1220.5	700.5	520.0	2.337	2.459					676	1761	2.50
2	5.5	1207.6	1217.2	698.9	518.3	2.330	2.465					689	1795	2.50
3	5.5	1218.6	1226.6	701.3	525.3	2.320						714	1785	2.25
Promedio						**2.329**	**2.462**	**2,329**	**5.4**	**15.88**	**65.98**		1781	2.42
1	6.0	1213.6	1223.9	702.8	521.1	2.329	2.428					651	1697	2.00
2	6.0	1209.3	1217.1	703.3	513.8	2.354	2.422					669	1743	2.00
3	6.0	1210.5	1215.2	700.7	514.5	2.353						654	1704	2.00
Promedio						**2.345**	**2.425**	**2,345**	**3.3**	**15.75**	**79.05**		1715	2.00
1	6.5	1209.8	1211.8	686.5	525.3	2.303	2.381					594	1487	
2	6.5	1215.3	1216.4	697.9	518.5	2.344	2.376					581	1515	
3	6.5	1211.3	1215.2	692.6	522.6	2.318						580	1513	
Promedio						**2.322**	**2.378**	**2,322**	**2.4**	**17.05**	**85.70**		1505	

4.5 INFORMACIÓN DE DISEÑO QUE SE ENTREGA AL CONTRATANTE

La información que se presenta a continuación es tomada de la sección 401.03 del "Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales" de la SIECA

La dosificación de diseño, en la metodología Marshall, debe ser presentada por escrito, con una anticipación de al menos 21 días previos al inicio de la producción de la planta asfáltica. En el informe de diseño de mezcla correspondiente deberá incluirse la siguiente información:

(a) Agregado y relleno mineral.

(1) Porcentaje de agregado que pasa por cada tamiz especificado, para la mezcla asfáltica preparada de acuerdo con la dosificación de diseño. Los porcentajes de agregado que pasan cada tamiz deberán estar dentro de los rangos de especificación correspondientes.

(2) Fuente y porcentaje de cada agregado de apilamiento que se usará.

(3) Granulometría promedio para cada apilamiento de agregado por usar y desviación estándar por tamiz, que derive de la realización de tres ensayos de granulometría, correspondientes a tres muestras, tomadas en posiciones aleatorias del apilamiento.

(4) Si el contratante lo solicita, deberán presentarse muestras representativas de cada agregado de apilamiento, en las siguientes cantidades.

(a) 100 kg de cada apilamiento de agregado grueso.

(b) 70 kg de cada apilamiento de agregado intermedio y fino.

(c) 10 kg de relleno mineral de aportación adicional, tal como cal, cemento, o relleno mineral producto de la trituración de agregado o roca.

(d) 10 kg de relleno mineral del colector de polvo de la planta asfáltica, si corresponde.

Las muestras de agregado, cuando sean combinadas de acuerdo con los porcentajes de combinación de apilamientos propuestas por el Contratista, deberán estar dentro de los rangos correspondientes a la granulometría de diseño +/- las desviaciones tolerables para cada tamiz. En caso contrario, las muestras serán consideradas no representativas.

(b) Cemento asfáltico.

(1) Cinco muestras de 4 litros del mismo lote de cemento asfáltico por usar en la producción de mezcla asfáltica.

(2) Lista de resultados de los ensayos de aceptación del ligante asfáltico, con fecha de por lo menos 2 semanas anteriores a la fecha del informe de diseño de mezcla, incluyendo la curva de viscosidad vrs. Temperatura (con mediciones a 60°C, 125°C, 135°C y 145°C).

(3) Hojas de seguridad para el ligante asfáltico.

(c) Aditivos mejoradores de adherencia. Cuando un aditivo mejorador de adherencia sea necesario, se debe suministrar lo siguiente para cumplir con los requisitos de aceptación de la mezcla asfáltica:

(1) Muestra de: 0.5 l de aditivo, si éste se aplicará en estado líquido; o 5 kg, si se aplicará en estado sólido.

(2) Nombre del producto.

(3) Fabricante.

(4) Hojas de seguridad para el material.

(5) Criterio técnico de soporte para su aplicación.

(d) Planta asfáltica donde se aplica el diseño. Debe informarse sobre la planta en que se aplicará el diseño de mezcla, así como su ubicación geográfica, teléfono, fax y/o correo electrónico.

El Contratante podrá, según su criterio y conveniencia, evaluar la aplicabilidad de los materiales y de la dosificación de diseño propuestas. Para tal efecto, usando los materiales aportados por el contratista, se verificarán las propiedades de la mezcla asfáltica, la granulometría de diseño y tres porciones de asfalto (óptimo de diseño, óptimo de diseño menos 0.5 % por peso total de mezcla, y óptimo de diseño más 0.5 % por peso total de mezcla).

A partir de la evaluación de aplicabilidad de los materiales y de la dosificación de diseño propuestas y/o la evaluación de la calidad y cantidad de información suministrada por el contratista en su informe previo, el Contratante podrá establecer un criterio de aceptación o rechazo, de la dosificación de diseño planteada en el informe correspondiente.

Si la dosificación de diseño es rechazada, se deberá efectuar una nueva dosificación de diseño, y entregar un nuevo informe en que se cumplan los requisitos previamente definidos.

Cualquier cambio de dosificación requiere aceptación previa a la producción de mezcla. El período requerido para la definición de un criterio e aceptación o rechazo de los cambios será de 14 días naturales. Los cambios aprobados en la dosificación de diseño no pueden ser aplicados de manera retroactiva para su pago.

4.6 GUIAS DE ENSAYOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS.

La nomenclatura que se le ha dado a cada guía de ensayo, es diferente a la de la teoría. Para poder llevar un orden, a la hora de que el lector necesite copiar un ensayo. La **Tabla 4.57** muestra los ensayos que se desarrollan en esta sección:

Tabla 4.57 **Lista de Ensayos que se desarrollan en esta sección:**

Ensayo Numero	Norma AASHTO	Titulo
22	AASHTO T 245	Resistencia al Flujo Plástico de Mezclas Bituminosas Utilizando Equipo Marshall
23	AASHTO T 209	Gravedad Específica Teórica Máxima y Densidad de Mezclas Bituminosas para Pavimentación
24	AASHTO T 166	Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas Utilizando Especimenes Saturados Superficialmente Secos
25	AASHTO T 164	Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente
26	AASHTO T 30	Análisis Mecánico de Agregado Extraído

Nota:

La nomenclatura para **Tablas, Gráficos, Fotografías** y **Figuras**; es como el siguiente ejemplo: **Tabla E 22.1**, se refiere en primer lugar a la **Tabla**, (**Grafico, Fotografía o Figura**), la **E** de ensayo; seguido del número correlativo del numero de ensayo **22.;** y finalmente el **.1** es el inicio de la numeración correlativa para la **Tabla**, (**Grafico, Fotografía o Figura**), del ensayo numero uno.

Ensayo No. 22.

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL.

Basado en norma AASHTO: T 245-97(2004)

1. OBJETIVOS.

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir en forma general el procedimiento para realizar el ensayo.
- Definir los términos de resistencia y flujo plástico
- Calcular los valores de resistencia y flujo plástico
- Reconocer el equipo necesario para la ejecución del ensayo.

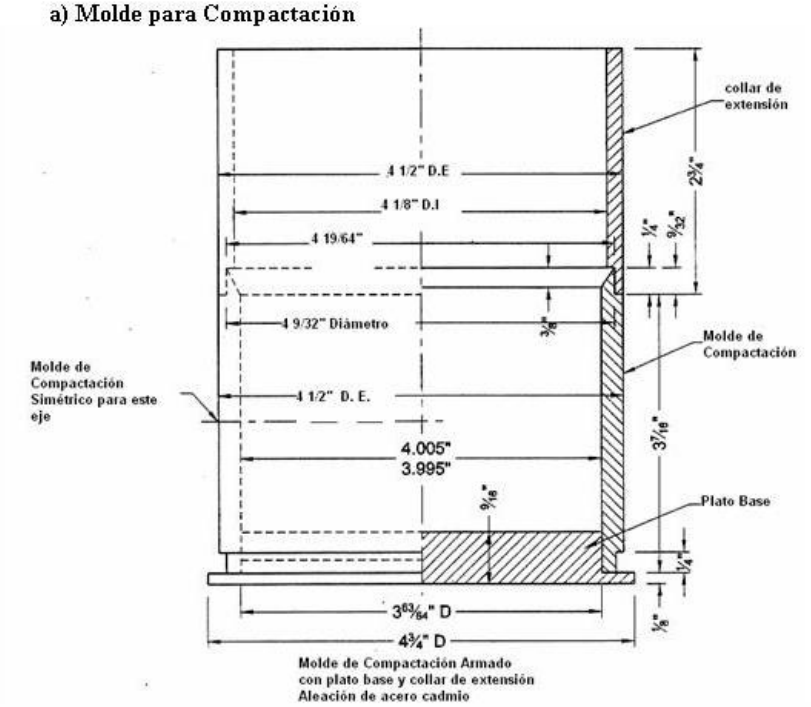
2. ALCANCE

1.1 Este método cubre la determinación de la resistencia al flujo plástico de especimenes cilíndricos de mezclas bituminosas para pavimentación, los cuales son cargados en la superficie lateral por medio del Equipo Marshall. Este método puede ser usado en mezclas que contienen cemento asfáltico, asfaltos rebajados (cutback) o alquitrán, y agregado con un tamaño máximo de hasta 25.4 mm (1 pulg).

3. EQUIPO

3.1 *Montaje del Molde de Compactación.*— Conformado por un plato base, molde cilíndrico con diámetro de 101.6 mm (4 pulg) por 76.2 mm (3 pulg) de altura, y collar de extensión (collarín) se conformarán a los detalles mostrados en la **Figura E 22.1.** Tres moldes cilíndricos son recomendados.(Ver **Fotografía E 22.1.**)

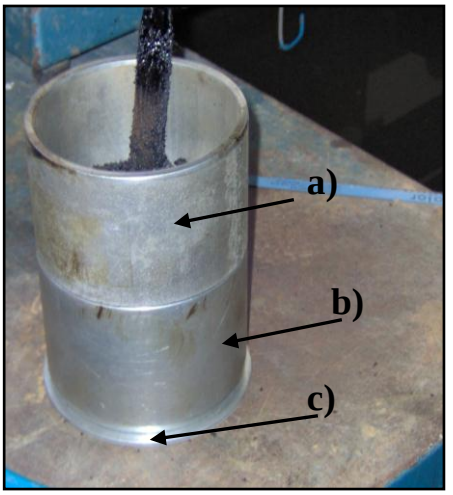
a) Molde para Compactación



b) Tabla de Equivalencias

Equiva. Métricos, mm	U.S. Unidad Acostumbrada, Pulg.	Equivalentes Métricos, mm	U.S. Unidad Acostumbrada, Pulg.	Equivalentes Métrico, mm	U.S. Unidad Acostumbrada, pulg	Equivalente Métrico, mm	U.S. Unidad Acostumbrada, Pulg.
0.11	0.005	17.5	11/16	58.7	2 5/16	104.8	4 1/8
0.8	1/32	19.0	¾	63.5	2 ½	108.7	4 9/32
1.6	1/16	22.2	7/8	69.8	2 ¾	109.1	4 19/64
3.2	1/8	23.8	15/16	73.0	2 7/8	114.3	4 ½
4.8	3/16	25.4	1	76.2	3	117.5	4 5/8
6.4	¼	28.6	1 1/8	82.6	3 ¼	120.6	4 ¾
7.1	9/32	31.8	1 ¼	87.3	3 7/16	128.6	5 1/16
9.5	3/8	34.9	1 3/8	98.4	3 7/8	130.2	5 1/8
12.6	0.496	38.1	1 ½	101.2	3 63/64	146.0	5 ¾
12.67	0.499	41.3	1 5/8	101.35	3.990	152.4	6
12.7	½	44.4	1 ¾	101.47	3.995	158.8	6 ¼
14.3	9/16	50.8	2	101.6	4	193.7	7 5/8
15.9	5/8	57.2	2 1/4	101.73	4.005	685.8	27

Figura E 22.1. **a) Dimensiones del Molde para Compactación b) Tabla de Equivalencias.**



Fotografía E 22.1.

Molde de Compactación:
a) Collar de Extensión.
b) Molde c) Plato Base

Fotografía tomada en Laboratorio del Centro de Tecnología Aplicada, Fundación Padre Arrupe.

3.2 *Extractor de briqueta*, de acero, con la forma de un disco con un diámetro no menor que 100 mm (3.95 pulg.) y un espesor de 12.7 mm (1/2 pulg.), para extraer la briqueta compactada del molde de compactación con el uso del collar de extensión. Una barra adecuada es requerida para transferir la carga del anillo de carga acomodándose al collar de extensión mientras se extrae la briqueta.

3.3 *Martillo de compactación.*— El martillo de compactación (**Figura E 22.2.**) tendrá una superficie plana circular de apisonamiento y un peso deslizante de 4536 ± 9 g (10 ± 0.02 lb) (incluyendo el indicador de seguridad si es así equipado) con una caída libre de 457.2 ± 1.524 mm (18 ± 0.06 pulg.).

NOTA 1 — El martillo de compactación puede estar equipado con un indicador de seguridad como se muestra en Figure E 22.2.

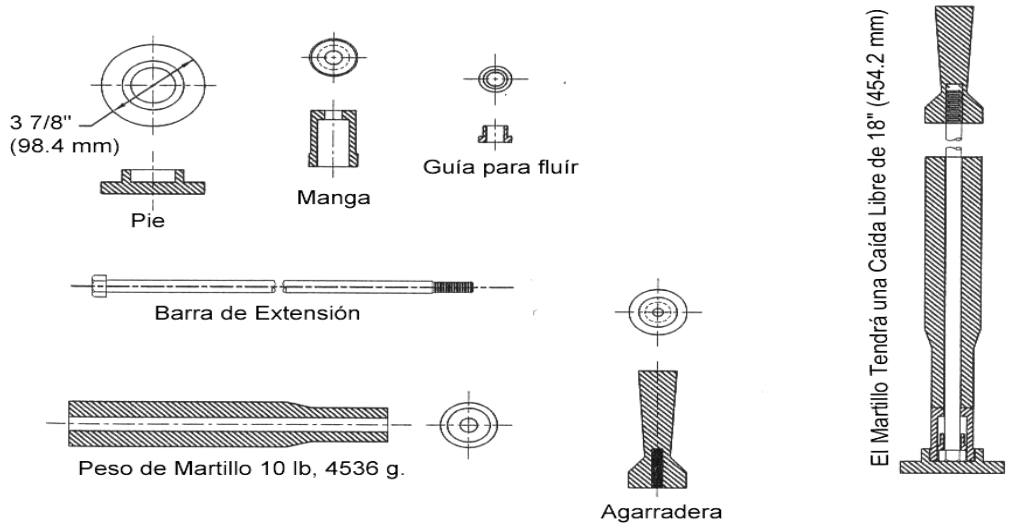


Figura E 22.2. **Elementos que Conforman el Martillo de Compactación.**

NOTA 2 — En sustitución de un martillo operado manualmente, como el equipo asociado y descrito en la Sección 3.3, 3.4, y *3.5*, puede usarse un martillo mecanizado siempre que haya sido calibrado para dar resultados comparables con el martillo operado manualmente.

3.4 *Pedestal de Compactación.—* El pedestal de compactación consistirá en un poste de madera sellado con medidas de 203.2 x 203.2 x 457.2-mm (8 x 8 x 18 pulg.) con una placa de acero de 304.8 x 304.8 x 25.4 -mm (12 x 12 x 1 pulg.). El poste de madera será de roble, pino u otra madera que tenga un peso seco promedio de 0.67 a 0.77 g/cm^3 (42 a 48 lb/fi^3). El poste de madera será asegurado por cuatro soportes angulares a una losa de concreto sólido. La placa de acero estará firmemente sujeta al poste. El pedestal armado será instalado de tal manera que el poste este vertical (a plomo) y la placa este nivelada.

3.5 *Sujetador del Molde de Compactación.—* Montado en el pedestal de compactación de tal manera que permita centrar el molde de compactación sobre el centro del poste. Este sujetará el molde de compactación, collar, y el plato base en una posición segura durante la compactación del espécimen.

3.6 *Cabezales (quijadas).*— constará de un segmento cilíndrico superior e inferior ó quijadas de ensayo tendrán un radio de curvatura interno de 50.8 mm (2 pulg.) exactamente elaborado a máquina. El segmento inferior estará montado en una base que tendrá dos barra guía perpendiculares ó postes extendidos hacia arriba. Los tubos (orificios) guía en el segmento superior serán internos tal posición le permitirá dirigir los dos segmentos verticales conjuntamente sin resistencia apreciable o movimiento libre en las barras guía.

3.7 *Marco de Carga*.— El marco de carga consistirá de un gato (jack) atornillado montado en un marco de ensayo y producirá un movimiento vertical uniforme de 50.8 mm/min (2 pulg/min.). Un motor eléctrico puede estar adjunto al mecanismo elevador.

NOTA 3 — En lugar de un marco de carga, puede ser usada una máquina mecánica o hidráulica de ensayo que pueda proporcionar y mantener la relación de movimiento de 50.8 mm (2 pulg.)/ min. mientras la carga es aplicada.

3.8 *Ensamble de Anillo de Carga.*— El anillo de carga (Figura E 22.10) con capacidad de 22.2 KN (5000 lbf) y sensibilidad de 44.5 N (10 lbf) hasta 4.45 KN (1000 lbf) y sensibilidad de 111.2N (25 lbf) entre 4.45 y 22.2 KN (1000 y 5000 lbf) estará equipado con un micrómetro. La escala del micrómetro estará graduada en 0.0025 mm (0.0001 pulg.). Los accesorios superior e inferior del anillo de carga, son requeridos para sujetar el anillo al marco de ensayo y transmitir la carga a la quijada.

NOTA 4 — En lugar del ensamble de anillo de carga, cualquier dispositivo que registre carga adecuadamente puede ser usado siempre que provea la capacidad, sensibilidad y cumpla con los requisitos anteriormente mencionados.

3.9 *Medidor de Fluj.*— El medidor de flujo consistirá de una manga guía y un medidor. El pin que activa el medidor se deslizará en el interior de la manga guía con una leve resistencia de fricción. La manga guía se deslizará libremente sobre la barra guía del cabezal. El medidor de flujo será ajustado a cero cuando se coloque en posición sobre el cabezal cuando cada espécimen individual a ensayar esté colocado entre los segmentos de los cabezales. Las graduaciones del medidor de flujo estarán en divisiones de 0.25-mm (0.01-pulg).

NOTA 5 — En lugar del medidor de flujo, un micrómetro o un medidor de deformación con graduaciones de 0.25 mm (0.01 pulg.) puede ser usado para medir el flujo.

3.10 *Horno o Plato Calentador*.— Horno o plato calentador serán proporcionados para calentar agregados, material bituminoso, moldes de compactación, martillo compactador y otro equipo para alcanzar las temperaturas requeridas de mezclado y compactación. Es recomendable que las unidades de calentamiento sean termostáticamente controlados para mantener la temperatura requerida entre 2.8 °C (5 °F). Escudos adecuados, placas deflectoras, o baño de arena pueden usarse en la superficie del plato calentador para minimizar el recalentamiento local.

3.11 *Equipo de Calefacción*.— Un plato calentador pequeño con una tasa de calefacción variable, un baño de arena, lámpara infrarroja, u otro dispositivo adecuado estará disponible para suministrar suficiente calor en la parte baja del tazón de la mezcladora para mantener el agregado y material bituminoso a la temperatura de mezclado establecida. Si el plato calentador es utilizado, una tela (malla) metálica o un material similar será colocado en el plato calentador para prevenir contacto directo entre el plato calentador y el tazón de la mezcladora.

3.12 *Equipo Mezclador*.— Una mezcladora mecánica es recomendada. Cualquier tipo de mezclador mecánico podrá ser usado si puede mantener la temperatura de mezclado requerida y producir una mezcla completamente recubierta y homogénea en la cantidad establecida y tiempo permisible, y adicionalmente que toda la carga pueda ser recuperada. También puede utilizarse una bandeja de metal ó un tazón de suficiente capacidad para realizar el mezclado manualmente.

3.13 *Baño María* .— El baño maría tendrá por lo menos una profundidad de 152.4 mm (6 pulg) y será termostáticamente controlado para mantener el agua en 60 ± 1 °C (140 ± 2 °F) o 37.8 ± 1˚C (100 ± 2 °F). El tanque estará equipado con un fondo perforado o equipado con un estante para soportar especimenes con 50.8 mm (2 pulg.) por encima del fondo del tanque.

3.14 *Baño de aire.*— El baño de aire para mezclas de asfaltos rebajados será termostáticamente controlado y mantendrá la temperatura de aire en 25 ± 1˚C (77 ºF ± 2˚F).

3.15 Equipo misceláneo:

3.15.1 *Contenedores para Calentar Agregados.* — Bandejas de metal de fondo plano u otros contenedores adecuados.

3.15.2 *Contenedores para Calentar Material Bituminoso.*— cualquier recipiente de lata, beaker, jarrón de verter ó bandejas pueden ser utilizados.

3.15.3 *Herramienta para Mezclar* — una espátula de acero (tipo de jardín) o espátula para revolver y mezclar manualmente.

3.15.4 *Termómetros*.— para determinar temperaturas de agregados, asfalto y mezclas bituminosas. De vidrio acorazado, tipo dial, o termómetros digitales con vástagos de metal son recomendados. Con un rango de 9.9 a 204 °C (50 a 400 °F) con sensibilidad de 2.8 ˚C (5 ˚F) son requeridos.

3.15.5 Termómetros para baño maría y aire con una sensibilidad de 0.2 °C (0.4 °F) con un rango suficiente para determinar la temperatura especificada del baño.

3.15.6 *Balanza*.— Con capacidad de 2-kg, con una sensibilidad de 0.1 g, para pesar especimenes moldeados (briquetas).

3.15.7 Balanza..— Con capacidad de 5 Kg, con una sensibilidad de 1.0 g, para dosificar mezclas.

3.15.8 Guantes.— para maniobrar equipo caliente.

3.15.9 *Guantes de hule*.— para remover las briquetas del baño maría.

3.15.10 *Crayón* .— para identificar las briquetas.

3.15.11 *Cucharón.*— fondo plano, para dosificar agregados.

3.15.12 *Cuchara*.— larga para colocar la mezcla en los moldes de compactación.

4. ENSAYO DE ESPECIMENES

4.1 *Número de especimenes.*— Prepare al menos tres briquetas para cada combinación de agregados y contenido de Asfalto.

4.2 *Preparación de agregados.*— Secar los agregados hasta masa constante entre 105 a 110 °C (221 a 230 ˚F) (Fotografía E 22.2) y separe a los agregados por tamizado seco en las fracciones de tamaño deseadas (ver **Fotografía E 22.3**). Las siguientes fracciones de tamaño son recomendadas:

- 25.0 a 19.O mm (1 a $^{3}/_{4}$ pulg.)
- 19.0 a 9.5 mm ($^{3}/_{4}$ a *3/8* pulg.)
- *9.5* mm a 4.75 mm (3/8 pulg. a No. 4)
- 4.75 mm a 236 mm (No. 4 a No. 8)
- Pasa 2.36 mm (No. 8)

4.3 *Determinación de la temperatura de compactación de la mezcla.*

4.3.1 *Las* temperaturas a las cuales el cemento asfáltico y asfaltos rebajados deben ser calentados para producir una viscosidad de 170 ± 20 centistoke (cSt) será la temperatura de mezcla.

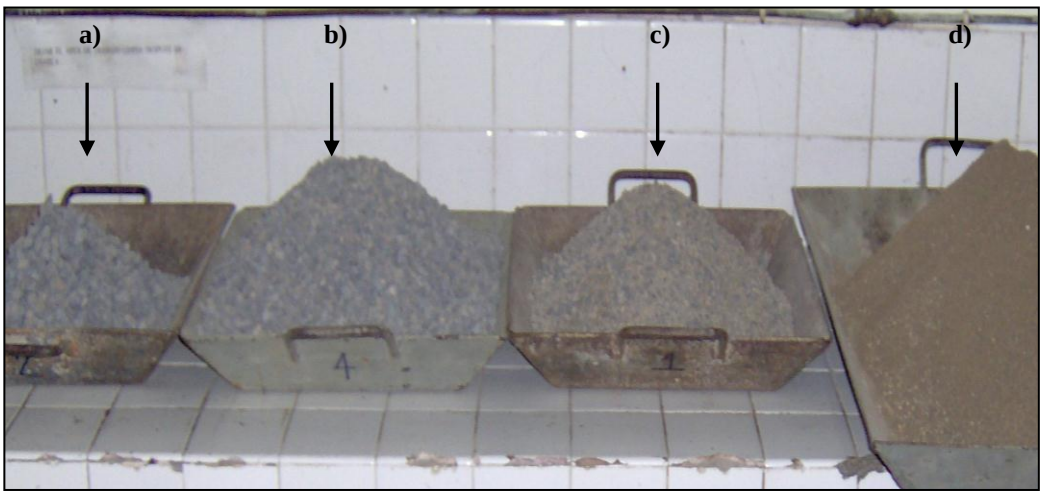
4.3.2 Las temperaturas a las cuales el cemento asfáltico debe ser calentado para producir una viscosidad de 280 ± 30 cSt será la temperatura de compactación.

4.3.3 Use una carta de composición para el asfalto rebajado, determine de la viscosidad a 60˚C (140 ˚F) el porcentaje de solvente por masa. También determine de la carta, la viscosidad del asfalto rebajado a 60 °C (140 °F) después que ha perdido 50 % de su solvente. La temperatura determinada de la carta de viscosidad—temperatura a la cual el asfalto rebajado debe ser calentado para producir una viscosidad de 280 ± 30 centistoke (cSt) después de perder el 50 % del contenido de solvente original, será la temperatura de compactación.

.

Fotografía E 22.2. **Agregados Secados en Horno.**

Fotografía tomada en Laboratorio de Suelos y Materiales de la Esc. de Ing. Civil **-UES**



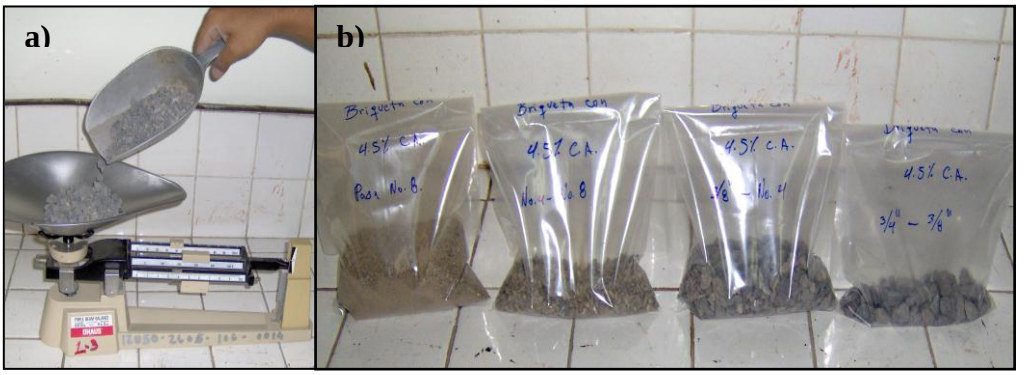
Fotografía E 22.3. **Agregados Separados en Fracciones.**
a) 3/4 a 3/8 pulg. b) 3/8" a No. 4
c) No. 4 a No. 8 y d) Pasan la No. 8

Fotografía tomada en Laboratorio de Suelos y Materiales de la Esc. de Ing. Civil **-UES**

4.3.3.1 La temperatura a la cual el alquitrán debe ser calentado para producir Viscosidades Específicas Engler de 25 ± 3 y 40 ± 5 será respectivamente la temperatura de mezclado y compactación.

4.4 *Preparación de mezclas:*

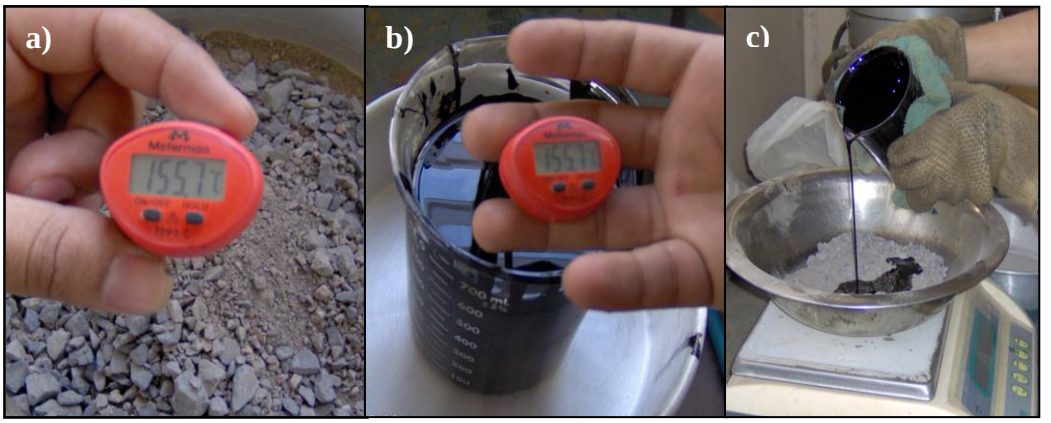
4.4.1 Una cantidad inicial de carga será mezclada con el propósito de "asfaltar" el tazón de la mezcladora y el mezclador. Esta cantidad (bachada) será vaciada después de mezclada y los lados del tazón y los mezcladores serán limpiados del residuo de mezcla raspando con una espátula pequeña pero no serán enjuagados con solvente o una tela con solvente, excepto cuando un cambio de cemento asfáltico debe ser realizado ó al finalizar el mezclado de diferentes dosificaciones.4.4.2 Pese en charolas separadas para cada espécimen a ensayar la antidad de cada tamaño de fracción requerida (ver **Fotografía E 22.4.a)**) para producir una dosificación que resultará en un espécimen compactado con una altura de 63.5 ± 1.27 mm (2.5 ± 0.05 pulg) (con peso aproximado de 1200 g). Mezcle el agregado en cada bandeja y coloque las bandejas en un plato calentador o en el horno y caliente a una temperatura que no exceda la temperatura de mezcla establecida en la Sección 4.3 aproximadamente por más de 28˚C (50˚F) para cemento asfáltico y mezclas de alquitrán, para mezclas asfálticas con asfalto rebajado serán 14˚C (25˚F). Caliente a la temperatura de mezcla establecida, en un contenedor separado sólo el material bituminoso suficiente para la dosificación (ver Fotografía E 22.5). Cargue el tazón de la mezcladora con el agregado caliente. Forme un cráter en el agregado mezclado seco y pese la cantidad requerida de material bituminoso precalentado en la mezcla. Para las mezclas preparadas con asfalto rebajados (cutback), introduzca el aspa que mezcla en la mezcladora y determine la masa total de la mezcla más tazón y aspa antes de seguir con el procedimiento de mezclado. Tenga cuidado para prevenir pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsiguiente manejo. En este punto la temperatura del agregado y el material bituminoso estarán dentro del límite de la temperatura de mezclado establecida en la Sección 4.3. Mezcle el agregado y material bituminoso rápidamente hasta que quede completamente revestido. Para mantener una temperatura correcta de mezclado, uno de los métodos descritos en la Sección 3.11 puede ser utilizado.



Fotografía E 22.4.

Preparación de Agregado para elaborar una briqueta: a) Pesado de una fracción de agregado, b) Dosificación de agregados para cada fracción según pesos establecidos.

Fotografía tomada en Laboratorio de Suelos y Materiales de la Esc. de Ing. Civil **-UES**



Fotografía E 22.5.

Chequeo de Temperatura de Mezclado en los Materiales a) Agregados, b) Asfalto y c) Adición del asfalto (agregados más asfalto sumarán aproximadamente 1200 g.)

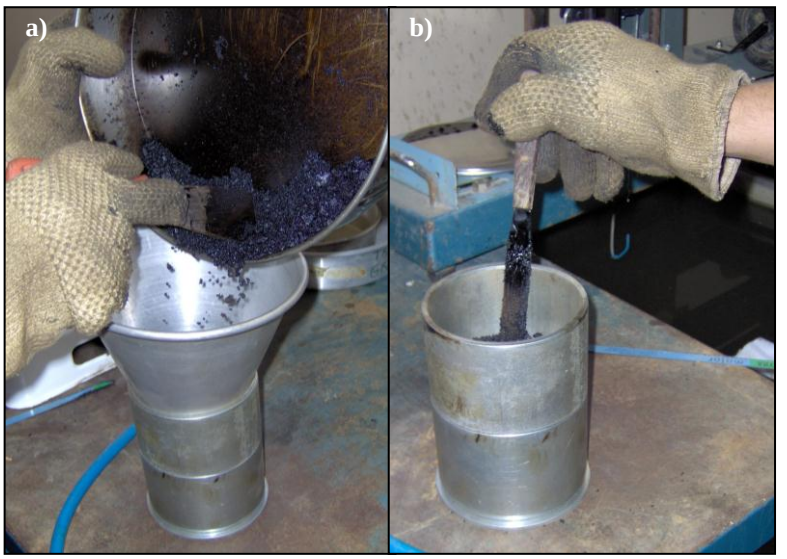
Fotografía tomada en Laboratorio del Centro de Tecnología Aplicada, Fundación Padre Arrupe.

4.4.3 Después de mezclar, cure las mezclas de asfalto rebajado en un horno ventilado mantenido la temperatura aproximadamente 11.1˚C (20˚F). arriba de la temperatura de compactación. El curado será continuado en el tazón de la mezcladora hasta que el peso precalculado de la pérdida del 50 % de solvente o más ha sido obtenido. La mezcla puede ser mezclada en el tazón de la mezcladora durante el curado para acelerar la pérdida del solvente. Sin embargo, se debe tener cuidado para prevenir pérdida de la

mezcla. Pese la mezcla durante el curado en intervalos sucesivos de 15 minutos inicialmente y luego a intervalos menores de 10 minutos hasta que la masa de la mezcla se aproxime al de la pérdida de 50 % de solvente.

4.5 *Compactación de Especimenes.*

4.5.1 Limpie totalmente el molde ensamblado para especimen y la superficie del martillo de compactación y caliéntelos ya sea en agua hirviendo, en el plato calentador, o en un horno, a una temperatura entre 93.3 y 148.9 ˚C (200 y 300 ˚F). Coloque una pieza de papel filtro o papel recortado en el fondo del molde antes de introducir la mezcla. Introduzca la cantidad dosificada (bachada) completa en el molde, compacte vigorosamente con una espátula caliente o una espátula 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior (ver **Fotografía E 22.6.b)**). Remueva el collar y alise la superficie de la mezcla con una espátula para dar una forma ligeramente redondeada.

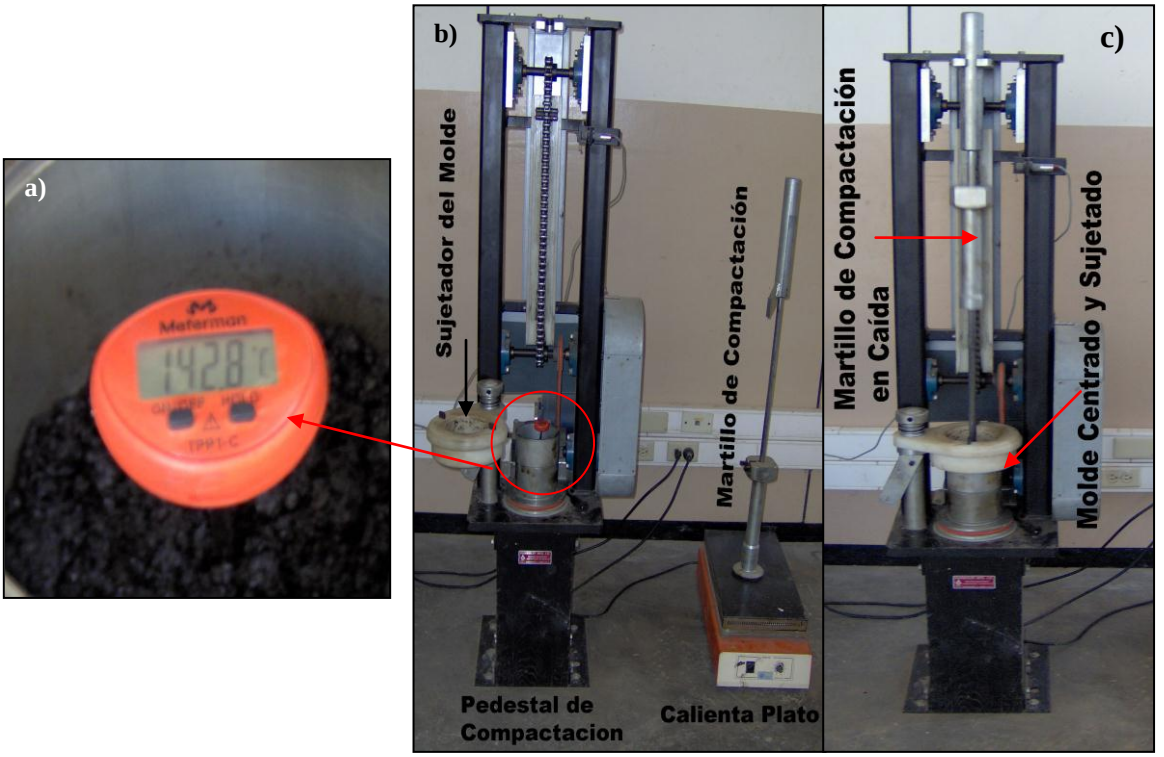


Fotografía E 22.6.

Colocación de la Mezcla en el Molde de Compactación.
a) Colocación, b) Compactación de la mezcla con una espátula (15 veces alrededor del perímetro y 10 en el centro)

Fotografía tomada en Laboratorio del Centro de Tecnología Aplicada, Fundación Padre Arrupe.

Las temperaturas de la mezcla antes de la compactación (**Fotografía E 22.7.a)**) estarán dentro del límite de la temperatura de compactación establecida en la Sección 4.3.



Fotografía E 22.7.

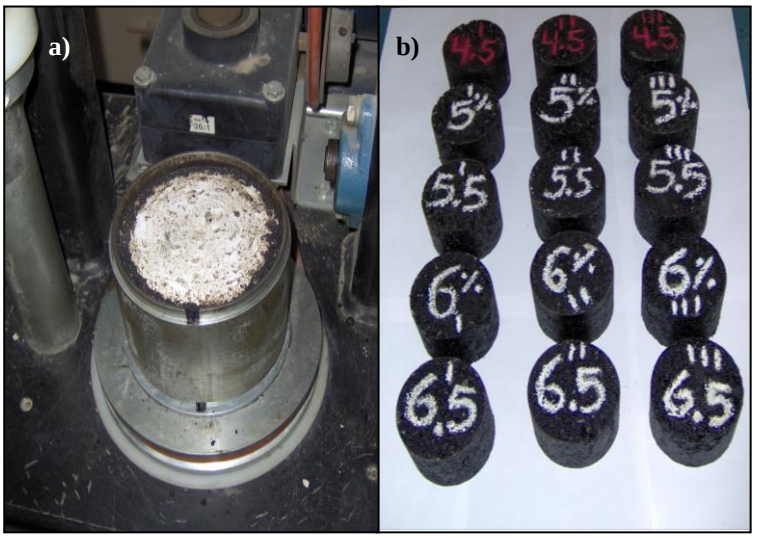
Martillo Marshall para la Compactación. a)Temperatura dentro del límite de compactación, b)Equipo y c) Martillo en caída libre

Fotografía tomada en Laboratorio del Centro de Tecnología Aplicada, Fundación Padre Arrupe.

4.5.2 Coloque nuevamente el collar, luego coloque una pieza de papel filtro o papel recortado sobre la mezcla y coloque el molde ensamblado en el sujetador de molde en el pedestal de compactación, y salvo indicación contraria, ejercer 50 o 75 golpes con el martillo de compactación con caída libre de 457.2 mm (18 pulg) (ver **Fotografía E 22.7**.). Mantenga la línea central del martillo de compactación perpendicular a la base del molde ensamblado durante la compactación. Remueva el plato base y el collar, y coloque el molde en una posición inversa (como se muestra en **Fotografía E 22.8.a)**, el molde se invierte y luego se le coloca de nuevo el collar). Ejerza el mismo número de golpes de compactación a la cara del espécimen que se invirtió. Después de la

compactación, remueva el plato base y coloque el molde en el extractor de muestra en contacto con una cara de la briqueta (tal como se muestra en la **Fotografía E 22.9.b)**). Coloque el molde armado con el collar de extensión sobre este, en la máquina de ensayo, ejerza presión por medio de la barra de transferencia de carga, e introduzca la briqueta a la fuerza en el collar de extensión. Retire el collar de la briqueta. Cuidadosamente transfiera la briqueta a una superficie plana, fina y permita reposar toda una noche a temperatura del cuarto. Mida, pese y ensaye la briqueta.

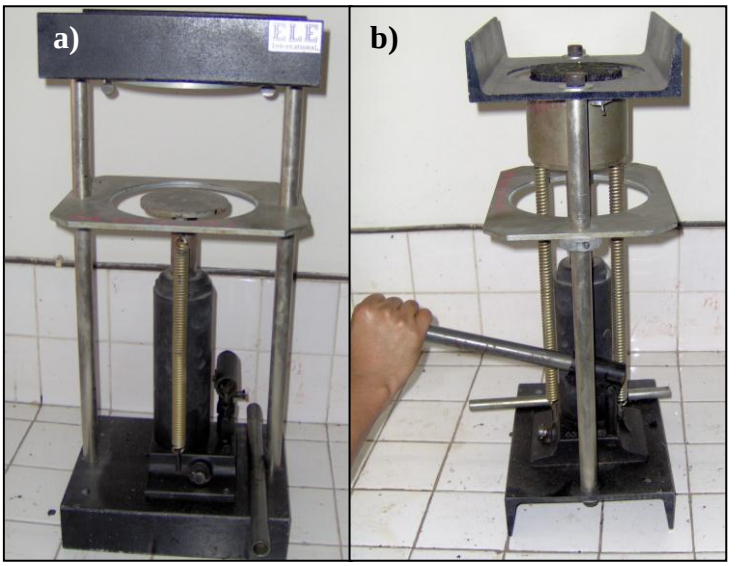
NOTA 6 — En general las briquetas serán enfriadas según las especificaciones de la sección 4.5.2. Cuando se desee un enfriado más rápido, un ventilador de mesa puede ser usado. Las mezclas que carecen de suficiente cohesión para resultar en la forma cilíndrica requerida después de la extracción del molde inmediatamente después de la compactación, pueden ser enfriadas al aire en el molde hasta que suficiente cohesión se haya desarrollado para mantener la forma cilíndrica correcta.



Fotografía E 22.8.

Juego de Briquetas Compactadas.
a) Molde invertido, b) Briquetas compactadas tres por cada porcentaje de asfalto establecido.

Fotografía tomada en Laboratorio del Centro de Tecnología Aplicada, Fundación Padre Arrupe.



Fotografía E 22.9.

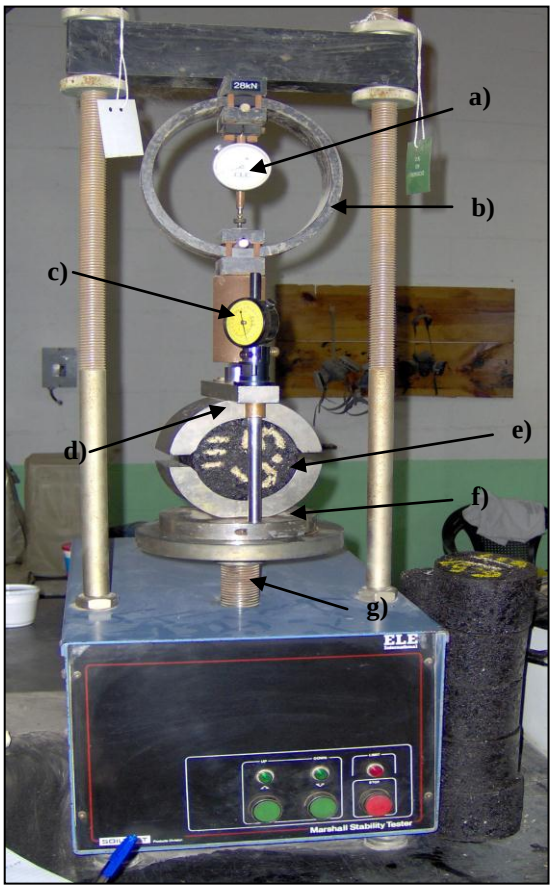
Extractor de Muestras.
a) Equipo de Extracción,
b) Extracción de una briqueta.

Fotografía tomada en Laboratorio de Suelos y Materiales de la Esc. de Ing. Civil -**UES**

5. PROCEDIMIENTO

5.1 Lleve los especimenes preparados con cemento asfáltico (**Fotografía E 22.8.b)**) o alquitrán a la temperatura especificada por inmersión en el baño de maría de 30 a 40 minutos o colóquelos en el horno por dos horas. Mantenga la temperatura del baño de maría u horno a 60 ± 1 ^{o}C (140 ± 1.8 ^{o}F) para especimenes con cemento asfáltico y 37.8 ± 1 ^{o}C (100 ± 1.8 ^{o}F) para especimenes con alquitrán. Coloque los especimenes preparados con asfalto rebajado (cutback) a la temperatura especificada colocándolos en el del baño de aire por un mínimo de dos horas. Mantenga la temperatura del baño de aire a 25 ± 1 ^{o}C (77 ± 1.8 °F). Limpie completamente las barras guía y las superficies interiores de los cabezales de ensayo antes de iniciar el ensayo, y lubrique las barras guía a fin de que el cabezal de ensayo superior se deslice libremente sobre ellas. La temperatura del cabezal de ensayo deberá mantenerse entre 21.1 a 37.8 ^{o}C (70 a 100 ^{o}F) usando un baño de maría en caso de necesitarlo. Remueva la briqueta del baño de maría, horno ó baño de aire, y colóquela en la parte interna del cabezal de

ensayo inferior. Coloque el segmento superior del cabezal de ensayo sobre la briqueta, y ponga el ensamble completo en posición en la máquina de ensayo. Coloque el medidor de flujo que será utilizado, en la posición correcta sobre una de las barras guía y ajuste el medidor de flujo a cero mientras sostiene la manga firmemente en contra del segmento superior del cabezal de ensayo (ver **Fotografía E 22.10.**). Mantenga la manga del medidor de flujo firmemente en contra del segmento superior del cabezal de ensayo mientras la carga de ensayo está siendo aplicada.



Fotografía E 22.10.

Equipo para Ensayo de Estabilidad y Flujo
a) Medidor de Estabilidad b) Anillo de Carga
c) Medidor de Flujo d) Quijada de ensayo superior
e) Briqueta f) Quijada de ensayo inferior
g) Tornillo elevador

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

5.2 Aplique carga a la briqueta a una razón de un movimiento constante del gato de carga o el cabezal de la maquina de ensayo de 50.8 mm/min (2 pulg/min) hasta que la carga máxima es alcanzada y la carga decrece como es indicada por el dial. Registre la carga máxima que indica la máquina de ensayo o convierta la lectura máxima leída del dial del micrómetro. Suelte la manga del medidor de flujo y anote la lectura indicada por el dial del micrómetro, usado, en el mismo momento en que la carga máxima comienza a decrecer. Lea y registre el valor de flujo indicado o las unidades equivalentes en veinticinco centésimas de milímetro (Centésimas de una pulgada) si un micrómetro de dial es usado para medir el flujo. El tiempo transcurrido para la realización del ensayo desde la extracción de la briqueta del baño de maría hasta la determinación de la carga máxima no excederá 30 segundos.

NOTA 7 – Para briquetas de núcleo corrija la carga aplicada cuando el espesor es distinto de 63.5 mm (2 1/2 pulg) use el factor multiplicador correcto de la tabla 2 para corregir.

6. REPORTE.

6.1 El reporte incluirá la siguiente información:

6.1.1. El tipo de muestra ensayada (muestra de laboratorio o núcleo de pavimento)

NOTA 8 — Para especimenes de núcleo, la altura de cada espécimen a ensayar será reportada en milímetros (o pulgadas).

6.1.2. Promedie la carga máxima de al menos tres especimenes en libra- fuerza (o newton), corregir si es necesario.

6.1.3. Promedie el valor de flujo de tres especimenes, en centésimas de pulgada, veinticinco centésimas de milímetro, y

6.1.4. Temperatura de Ensayo.

Tabla E 22.1. **Razón de correlación de estabilidad [a]**

Volumen de Espécimen, cm^3	Espesor Aproximado de Espécimen, pulg.	mm	Razón de correlación
200 a 213	1	25.4	5.56
214 a 225	1 1/16	27.0	5.00
226 a 237	1 1/8	28.6	4.55
238 a 250	1 3/16	30.2	4.17
251 a 264	1 ¼	31.8	3.85
265 a 276	1 5/16	33.3	3.57
277 a 289	1 3/8	34.9	3.33
290 a 301	1 7/16	36.5	3.03
302 a 316	1 ½	38.1	2.78
317 a 328	1 9/16	39.7	2.50
329 a 340	1 5/8	41.3	2.27
341 a 353	1 11/16	42.9	2.08
354 a 367	1 ¾	44.4	1.92
368 a 379	1 13/16	46.0	1.79
380 a 392	1 7/8	47.6	1.67
393 a 405	1 15/16	49.2	1.56
406 a 420	2	50.8	1.47
421 a 431	2 1/16	52.4	1.39
432 a 443	2 1/8	54.0	1.32
444 a 456	2 3/16	55.6	1.25
457 a 470	2 ¼	57.2	1.19
471 a 482	2 5/16	58.7	1.14
483 a 495	2 3/8	60.3	1.09
496 a 508	2 7/16	61.9	1.04
509 a 522	2 ½	63.5	1.00
523 a 535	2 9/16	65.1	0.96
536 a 546	2 5/8	66.7	0.93
547 a 559	2 11/16	68.3	0.89
560 a 573	2 ¾	69.9	0.86
574 a 585	2 13/16	71.4	0.83
586 a 598	2 7/8	73.0	0.81
599 a 610	2 15/16	74.6	0.78
611 a 625	3	76.2	0.76

[a] La estabilidad medida de un espécimen multiplicada por la razón de el espesor del espécimen corresponde a la estabilidad corregida para espécimen a 63.5 mm (2 1/2 pulg).

[b] La relación de volumen-thickness se basa en un diámetro del espécimen de 101.6 mm (4 pulg)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO
AASHTO T 245-97 (2004)

So Jniversidad de El Salvador
Proyecto: Trabajo de graduación
Procedencia:
Fecha de muestreo: Muestra No.
Material: Mezcla asfáltica 1/2"
Ubicación: Mezcla elaborada en laboratorio
Laboratorista: Fecha de ensayo:

BRIQUETA	ALTURA (cm)	CORRECCION (cm)	FLUJO (mm)	LECTURA ESTABILIDAD	ESTABILIDAD (Kg)	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)
A		0.89	2.00	665.0	1733.0	1542.0
B		0.93	2.00	678.0	1766.0	1642.0
C		0.89	2.00	660.0	1720.0	1531.0
PROMEDIO			**2.00**			**1572.0**

OBSERVACIONES: Se compacto a 142 grados centígrados

Según el anillo que se utilizó para el ensayo la estabilidad se calcula así

Estabilidad (Kg) = 2.5897 x Lectura de Estabilidad + 10.679

Ensayo No. 23.

GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN.

Basado en norma AASHTO: T 209-05

1. OBJETIVOS.

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir en forma general el procedimiento para realizar el ensayo.
- Comprender el significado de la Gravedad Específica Teórica Máxima.
- Calcular el valor de Gravedad Específica Teórica Máxima
- Reconocer el equipo necesario para la ejecución del ensayo.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica teórica máxima y la densidad de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación no compactadas a 25 °C (77 °F).

NOTA 1 — La precisión del método es más conveniente cuando el procedimiento es realizado en muestras que contienen agregados que están completamente revestidos. Para asegurar recubrimiento completo es deseable poner a funcionar el método en muestras que están cerca del contenido óptimo de asfalto.

2.2. Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

2.3. Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1. Normas AASHTO:

M 132, Términos Relacionados a Densidad y Gravedad Específica de Sólidos, Líquidos y Gases.

R 10, Definición de Términos para Procedimientos y Especificaciones.

T 168, Muestreo de Mezclas Bituminosas para Pavimentación.

3.2. Normas ASTM:

D 4311, Práctica para Determinar el Volumen Corregido de Asfalto a una Temperatura Base.

E 1, Especificación para Termómetros ASTM.

4. TERMINOLOGÍA

4.1. Los términos *gravedad específica y densidad* usados en este método de ensayo están en conformidad con AASHTO M 132.

4.2. *Definiciones:*

4.2.1 *Densidad, según se determina por este método de ensayo.*— la masa de un metro cúbico de material a 25 °C en unidades SI, o la masa de un pie cúbico de material a 25 °C en unidades de libra – pulgada.

4.2.2 *Presión residual, según* es el empleado de este método de ensayo — la presión en un contenedor de vacío cuando el vacío es aplicado.

4.2.3 *Gravedad específica, según se determina por este método de ensayo.*— la relación de una masa dada de material a 25 °C (77 °F) a la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

5. RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Una muestra pesada de mezcla de pavimentación secada en horno en condición suelta es colocada en un contenedor de vacío tarado. Se agrega suficiente agua a una temperatura de 25 ± 0.5 °C (77 ± 0.9 °F) hasta sumergir completamente la muestra.

El vacío es aplicado por 15 ± 2 min para reducir gradualmente la presión residual en el contenedor de vacío a 3.7 ± 0.3 kPa (27.5 ± 2.5 mm Hg). Al final del período de vacío, el vacío es gradualmente liberado. El volumen de la muestra de mezcla de pavimentación es obtenido ya sea sumergiendo el contenedor de vacío con la muestra en un baño maría (Sección 10.5.1) y pesándolo ó por la (Sección 10.5.2) llenando el contenedor de vacío completamente de agua y pesándolo en el aire. En el tiempo de pesado, la temperatura es medida así como también la masa. De las mediciones de masa y volumen, la gravedad específica o densidad a 25 °C (77 °F) es calculada. Si la temperatura utilizada es diferente de 25 °C (77 °F), es aplicada una corrección apropiada.

6. SIGNIFICADO Y USO

6.1. La gravedad específica teórica máxima y la densidad de una mezcla asfáltica de pavimentación en caliente son propiedades intrínsecas cuyos valores son influenciados por la composición de las mezclas en términos de los tipos y cantidades de agregados y materiales bituminosos.

6.1.1. Son usadas para calcular valores de porcentajes de vacíos de aire en las mezclas para pavimentación compactadas de mezclas asfálticas en caliente.

6.1.2. Proveen valores bases (de referencia) para la compactación de mezclas para pavimentación.

6.1.3. Son esenciales para calcular la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos de las partículas individuales de agregado en una mezcla para pavimentación de mezcla asfálticas en caliente.

7. EQUIPO

7.1. *Contenedor de Vacío:*

7.1.1. Los contenedores de vacío descritos deben ser capaz de resistir completamente el vacío aplicado, y cada uno debe estar equipado con los ajustes y otros accesorios requeridos por el procedimiento de ensayo que está siendo empleado. La abertura en el

contenedor que conduce a la bomba de vacío estará cubierto por una pieza de malla de 75- μm (No. 200) para minimizar la pérdida de material fino.

7.1.2. El tamaño del contenedor de vacío deberá estar entre 2,000 y 10,000 ml y depende de los requisitos de tamaño de la muestra mínima dados en la Sección 8.2. Evite usar una muestra pequeña en un contenedor grande.

7.1.3. *Tazón de Vacío.*— Ya sea uno de metal o plástico con un diámetro aproximadamente de 180 a 260 mm (7.1 a 10.2 pulg.) y una altura de tazón de al menos 160 mm (6.3 pulg.) estará equipado con una tapadera transparente que se acomoda a un empaque de hule y una conexión para la línea de vacío.

7.1.4. *Frasco de Vacío para Pesar Sólo en Aire*.— Un frasco volumétrico de vidrio grueso y amurallado y un tapón de hule, con una conexión para la línea de vacío.

7.1.5. *Picnómetro para Pesar Sólo en Aire.*— de vidrio, metálico, ó un picnómetro plástico. Ver **Fotografía E 23.1**

7.2. *Balanza.*— con capacidad amplia y con suficiente sensibilidad para posibilitar el calculo de la gravedad específica de muestras de mezclas para pavimentación no compactadas con al menos cuatro cifras significativas: esto es, para al menos tres cifras decimales. Para el método del tazón, la balanza estará equipada con un aparato adecuado y una agarradera para permitir el pesado de la muestra mientras está suspendida bajo la balanza. El aparato debe tener la misma sensibilidad, capacidad y exactitud de la bandeja de la parte superior.

7.2.1. El alambre suspendido de la agarradera deberá ser de tamaño práctico para minimizar un posible efecto de una longitud variable de inmersión.

7.3. *Bomba de Vacío o Aspirador de Agua*.— capaz de evacuar aire del contenedor de vacío a una presión residual de 4.0 kPa (30 mm Hg)

7.3.1 Cuando se use una bomba de vacío, una trampa adecuada de uno o más frasco filtro (trampas) de 1000 ml ó equivalente, serán instalados entre la fuente de vacío y el contenedor de vacío para reducir la cantidad de vapor de agua que pueda entrar en la bomba de vacío (ver **Figura E 23.1**).

7.4. *Manómetro de presión residual.* – o calibrador de vacío se puede adaptar a un NIST (obligatorio) para ser conectado directamente al contenedor de vacío y será capaz de medir la presión residual hasta 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos (preferiblemente a cero). Debe estar conectado al final de la línea de vacío usando un tubo apropiado, ya sea un conector "T" en lo alto del contenedor o usando una abertura separada (de la tubería de vacío) en la parte superior del contenedor para pegar la manguera. Para evitar daño, el manómetro mismo no debe estar situado encima del contenedor, pero adyacente a el.

NOTA 2 — Una presión residual de 4.0 kPa (30 mm Hg) es aproximadamente equivalente a una presión absoluta de 97 kPa (730 mm Hg) leída en un calibrador de vacío a nivel del mar.

NOTA 3 — La presión residual en el contenedor de vacío, medida en milímetros de mercurio, es la diferencia en la altura de mercurio en el manómetro de vacío Torricelli y la altura de mercurio en la otra columna del manómetro que está pegada al contenedor de vacío.

7.5. *Manómetro ó Calibrador de Vacío.* — adecuado para medir el vacío que esta siendo aplicado por la fuente de vacío. Este dispositivo puede estar conectado directamente a la fuente de vacío o puede estar en línea cerrada de la fuente de vacío. Este es requerido para comprobar la lectura registrada por el manómetro de presión residual pegado directamente al contenedor de vacío.

NOTA 4 — La extensión del manómetro de vacío Torricelli ocasionalmente adquiere una o más burbujas de aire que introducen error en la presión residual leída. Por la adición del calibrador de vacío este error a menudo puede ser rápidamente detectado por la diferencia entre medidas de dos vacíos.

7.6. *Termómetros.* — termómetros calibrados de vidrio con líquido, de rango adecuado con subdivisiones y máxima escala de error de 0.5 °C (0.9 °F), o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud, precisión y sensibilidad serán usados. Los termómetros se conformarán a los requisitos de ASTM E 1.

7.7. *Baño María:*

7.7.1. Para tazón de vacío, un baño maría que pueda mantener una temperatura constante entre 20 y 30 ° C (68 y 86 °F) es requerido.

7.7.2. Cuando se use la técnica de pesar en agua, el baño maría debe ser adecuado para la inmersión del contenedor suspendido con su muestra desaireada.

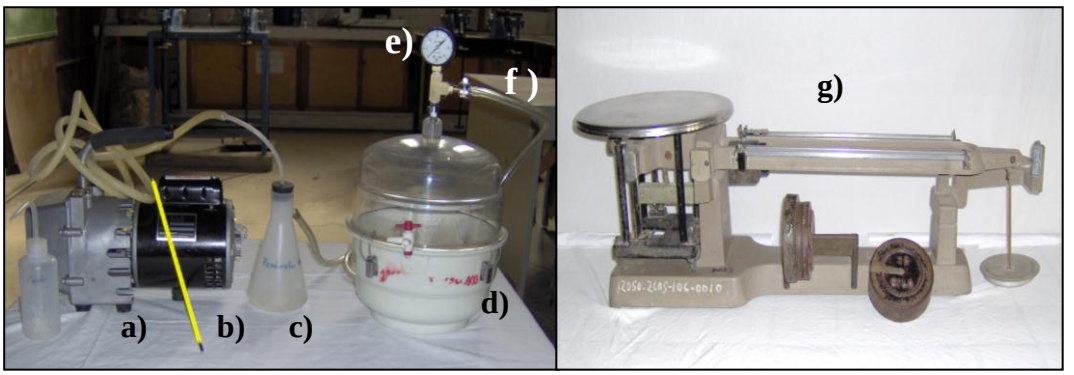
7.8. *Válvula de Sangrado*.— pegada a la línea de vacío para facilitar el ajuste del vacío que está siendo aplicado al contenedor de vacío.

7.9. *Guantes protectores*.— para usar cuando se maniobra el equipo de vidrio bajo vacío.

NOTA 5 — Un ejemplo de un acomodamiento correcto del equipo de ensayo se muestra en la Figura E 23.1. En la figura, el propósito de la serie de frascos filtro (trampas) pequeños es atrapar el vapor de agua del contenedor de vacío que de otra manera se introduciría en el aceite de la bomba de vacío y disminuiría la habilidad de la bomba para proveer alto vacío.

Figura E 23.1. **Ejemplo de Distribución Correcta del Equipo de Ensayo.**

El equipo completo se muestra en la **Fotografía E 23.1**.



Fotografía E 23.1

Equipo para Gravedad Teórica Máxima
a) Bomba de vacío, b) Termómetro, c) frasco para trampa, d) Picnómetro plástico, e) Manómetro, f) Línea de vacío y g) Balanza de capacidad de 20 Kg.

8. MUESTREO.

8.1 Obtenga la muestra de conformidad con AASHTO T 168 (Muestreo de Mezclas Bituminosas para Pavimentación).

8.2. El tamaño de la muestra estará conforme a los requisitos de la **Tabla E 23.1**. Muestras más grandes que la capacidad del contenedor pueden ser ensayadas una porción a la vez.

Tabla E 23.1 **Requisitos para el Tamaño Mínimo de la Muestra**

Tamaño de la partícula más grande de agregado en la mezcla, mm (pulg)	Tamaño mínimo de la muestra, g.
50.0 (2)	6000
37.5 (1 ½)	4000
25.0 (1)	2500
19.0 (3/4)	2000
12.5 (1/2)	1500
9.5 (3/8)	1000
4.75 (No. 4)	500

9. CALIBRACIÓN DE FRASCOS, TAZONES Y PICNÓMETROS

9.1. Para el método de pesado en agua *(*Sección 10.5.1*)*, la masa del tazón de vacío será calibrada para realizar la corrección por temperatura, determinando su masa cada ves que es sumergido en agua en el rango de temperatura del baño maría en el que probablemente se encontrará en servicio (ver **Gráfico E 23.1**).

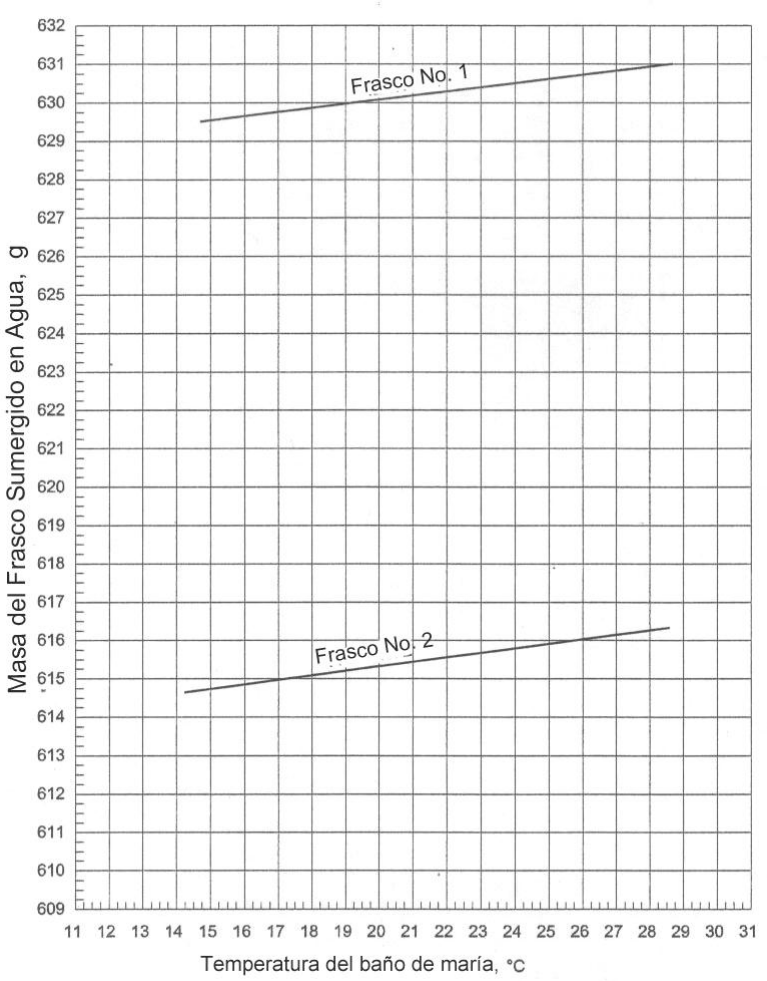


Grafico E 23.1. **Ejemplo de Curva de Calibración para Frasco Volumétrico, (B)**

9.2. *Para el método pesado en aire (Sección 10.5.2),* calibre los frascos volumétricos o picnómetros para determinar la masa del contenedor cuando es llenado con agua en el rango de la temperatura del agua en la que probablemente se encontrará en servicio (**Gráfico E 23.2**). Cuando esté calibrado a 25 ± 0.5 °C (77 ± 0.9 °F) designe esta masa como D. El llenado completo puede ser asegurado usando un plato de vidrio ó una cubierta.

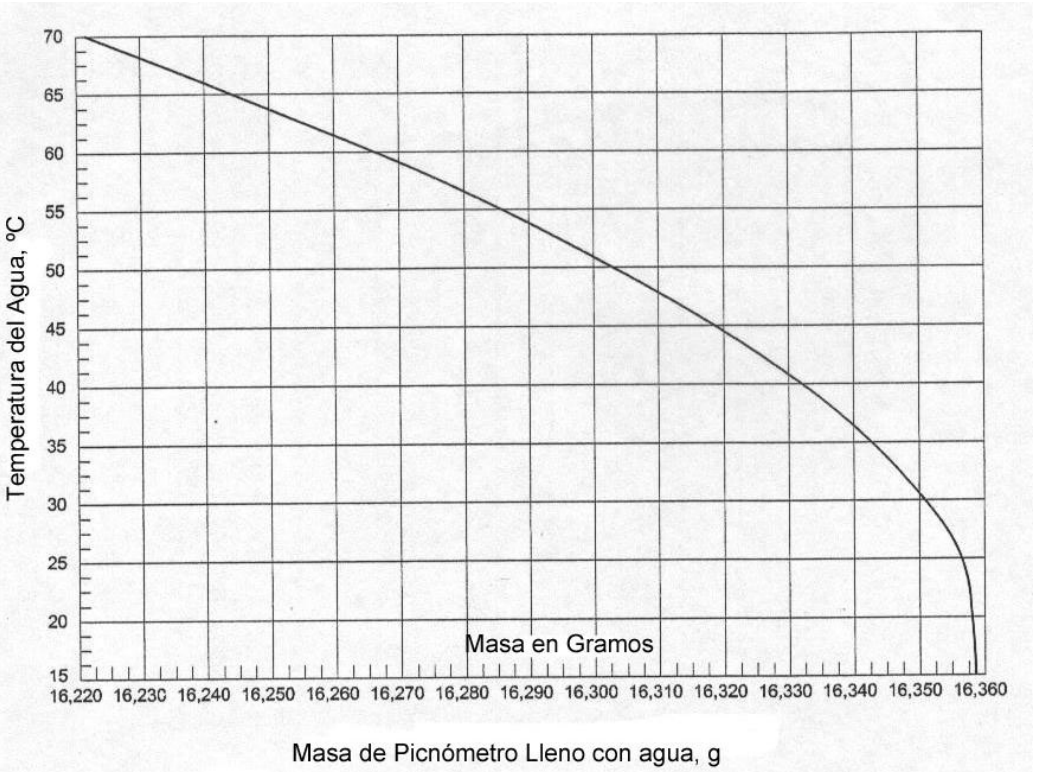


Grafico E 23.2 **Ejemplo de Curva de Calibración para Picnómetro, (D)**

9.3 Calibre el picnómetro plástico de tamaño grande para determinar exactamente la masa de agua requerida para llenarlo, entre un rango de temperatura de 20 a 65 °C (70 a 150 °F), y elabore una curva de calibración de temperatura versus masa como se muestra

en el **Gráfico E 23.2**. Deberá tenerse cuidado para seguir exactamente el mismo procedimiento tanto en la calibración como en la realización de un ensayo.

9.3.1. El siguiente procedimiento de llenado puede ser usado para el modelo con tapadera a la que se le sujeta con abrazaderas y tapón con un orificio de ventilación (desahogador). La tapadera en forma de domo es sujetada en su lugar y el picnómetro es casi llenado con agua. Deje aproximadamente 50 mm (2 pulg) sin llenar. La liberación de burbujas de aire puede ser facilitada aplicando vacío y por sacudida (dejando caer primero un lado del picnómetro y luego el otro, cerca de 10 mm. (1/2 pulg.) en la superficie del banco). Este vacío aplicado y el procedimiento de liberación de las burbujas deberá tomar aproximadamente 10 minutos a fin de que el equilibrio de temperatura entre la superficie del picnómetro y el agua se aproxime, eso se logra al correr (realizar) un ensayo. La cantidad final de agua es entonces vertida cuidadosamente adentro del picnómetro hasta que el nivel esté a media altura en el cuello de arriba. Cualquier burbuja de aire atrapada contra del domo que no puede ser liberada por agitado ó formando remolinos en el agua, puede ser "pinchado" o puede ser empujada a la superficie con un alambre doblado. Inserte el tapón con orificio de ventilación usando sólo la fuerza suficiente para colocarlo fijamente en su lugar e inmediatamente seque con un paño el agua excedente fuera de la parte superior.

9.3.2. *Para los modelos con desconecte rápido de la línea (tubería) de vacío y tapa no sujetada, el procedimiento de llenado es como sigue*. Con la válvula de admisión cerrada, aplique un vacío aproximadamente de 30 kPa (10 pulg. de Hg). Abra la válvula de admisión lentamente dejando entrar agua hasta que el nivel alcance 25 mm (1 pulg.) abajo de la parte superior del domo y cierre la válvula. Continúe aplicando vacío y libere las burbujas por agitado y golpeteando el contenedor con un mazo de caucho. Lentamente abra la válvula de admisión y permita que entre más agua hasta que se desborde agua en la línea de vacío y entonces cierre la válvula. Este vacío aplicado y el procedimiento de liberación de las burbujas deberán tomar aproximadamente 10 minutos,

al final el equilibrio de temperatura entre la superficie del picnómetro y el agua se logra al realizar un ensayo. Desconéctese por la extracción en las juntas de desconecte rápido debajo del calibrador.

9.3.3. El agua que está fuera de la superficie del picnómetro es secada y retirada, el picnómetro lleno es pesado, y la temperatura del agua medida.

NOTA 6 — La forma de la curva de calibración es una función de dos factores antagónicos que pueden estar racionalmente definidos. Como la temperatura es aumentada, el contenedor mismo se expande (añadiendo masa en la línea del "picnómetro" Gráfico E 23.3) y la densidad del agua contenida decrece (resultando en pérdida de masa en la línea de "agua" Gráfico E 23.3). Estas relaciones son mostradas en el Gráfico E 23.3 para un picnómetro típico de talla grande El curva de "Agua" puede elaborarse multiplicando el volumen a 25 °C (77 °F) por la diferencia en la densidad del agua a 25 °C (77 °F), que es 0.9970, y la densidad del agua a la temperatura de calibración.

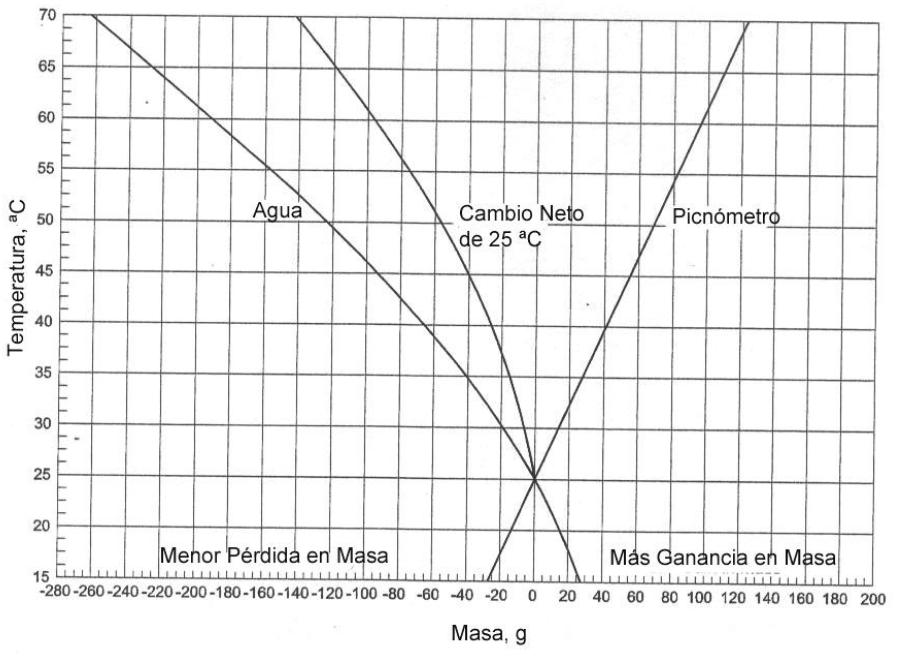


Gráfico E 23. 3 **Efecto del Cambio en la Densidad del Agua y Volumen del Picnómetro (F) con cambio en la Temperatura.**

Diferencia debida a la Expansión del agua $= V_{25} (0.9970 – dw)$

Ya que $V_{25} = W_{25} / 0.9970$ (1)

V_{25} (0.9970 - dw) se reduce a W_{25} $(1 - \frac{dw}{0.9970})$

Donde:
V_{25} = volumen de agua para llenar un contenedor a 25 °C (77 °F), cm^3
W_{25} = masa de agua para llenar un contenedor a 25 °C (77 °F), g; y
dw = densidad de agua a la temperatura de calibración, mg/m^3.

La razón de cambio en capacidad del contenedor debido a la expansión térmica del picnómetro mismo es esencialmente constante sobre el rango de temperatura de 20 a 65 °C (70 a 50 °F). Así, la línea del "picnómetro" en la **Gráfico E 23.3** puede trazarse a través de un punto de 0 a 25 °C (77 °F) sabiendo sólo la pendiente de la relación de la línea recta. La pendiente puede ser establecida promediando al menos cinco pesadas de calibración en alguna temperatura elevada, añadiendo la pérdida debido a la expansión de agua y sustrayendo la masa a 25 °C (77 °F), W_{25}, para dar la ganancia en la capacidad debido a la expansión del contendor. La diferencia en masa dividida a la diferencia en la temperatura es la pendiente de la línea del "picnómetro". Para un picnómetro de policarbonato de aproximadamente 13,500 ml de capacidad, la pendiente así establecida fue 2.75 g / °C (1.53 g / °F). Se cree que esto es típico y razonablemente constante.

La curvatura de la curva de calibración (**Gráfico E 23.2**) debido a estos factores térmicos rebajados así, minimiza el error experimental debido a efectos de temperatura en el rango normal de trabajo, 25 °C (77 °F), para ambos el frasco volumétrico y el contenedor del picnómetro. Definir la curva de calibración hace posible corregir por temperatura, antes que "traer a temperatura," por consiguiente eliminando el costo de un baño de maría y haciéndola factible de mejorar la exactitud por ensayo de muestras mayores y para reducir materialmente el tiempo de ensayo.

9.4 Mientras la calibración del frasco ó cualquier picnómetro, es necesaria hacerla sólo una vez, la calibración deberá ser comprobada ocasionalmente, particularmente a 25 °C. El equipo debe ser conservado limpio y libre de cualquier acumulación que origine cambios en la masa si el volumen de calibración debe permanecer constante. Se deberá tener cuidado para usar sólo solventes neutrales, especialmente con contenedores plásticos, contenedores de vidrio no deberán ser sujetos a un vacío alto si están agrietados o dañados.

10. PROCEDIMIENTO

10.1. Separe las partículas de la muestra de mezcla de pavimentación a mano (tal como se muestra en la **Fotografía E 23.2**), esforzándose por evitar fracturar el agregado; a fin de que las porciones de partículas de agregado fino no sean mayores de 6.3 mm (1/4 pulg). Si una muestra de mezcla de pavimentación no es suficientemente suave para ser separada manualmente, colóquela en una charola plana, y caliéntela en un horno hasta que pueda ser separada tal como se describe.

Fotografía E 23.2 **Separación de la Mezcla a Mano**

10.2. Muestras preparadas en un laboratorio deberán ser curadas y secadas en un horno a 135 ± 5 °C (275 ± 9 °F) por un mínimo de dos horas, o como sea apropiado para el

procedimiento de diseño de mezcla que está siendo usado. Tiempo de secado más largos puede ser necesario para que la muestra logre una masa constante (diferencia de masa de 0.1 %). Mezclas de pavimentación que no se han preparado en un laboratorio con agregados secados en horno serán secadas a masa constante a una temperatura de 105 ± 5 ° C. Este secado y curado será combinado con cualquier calentamiento descrito en Sección 10.1.

NOTA 7 — El tiempo mínimo de dos horas en el horno está especificado como el tiempo de curado para la preparación de especimenes en laboratorio. El curado a la temperatura especificada es especialmente importante cuando agregados absorbentes son usados. Esto asegurará la obtención de valores reales de la cantidad de asfalto absorbido por el agregado y las propiedades de vacío de la mezcla. Materiales producidos en planta no deberán ser curados porque la absorción tiene lugar durante la producción.

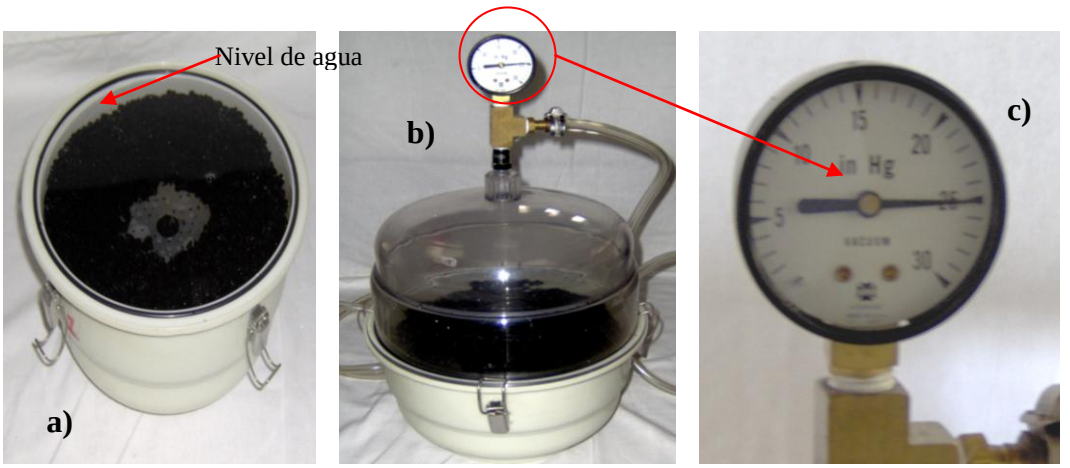
10.3. Enfríe la muestra a temperatura del ambiente y colóquela en un frasco calibrado y tarado, tazón ó picnómetro (como se muestra en la **Fotografía E 23.3a)**. La muestra debe ser colocada directamente en un contenedor de vacío. Un contenedor dentro de un contenedor no debe ser usado. Pese (ver **Fotografía E 23.3b**) y designe la masa neta de la muestra como A. Añada suficiente agua a una temperatura aproximadamente de 25 °C (77 °F) para cubrir totalmente la muestra (como se muestra en **Fotografía E 23.4a**).

10.4. Remueva el aire atrapado en la muestra aplicando gradualmente incrementos de vacío hasta que el manómetro de presión residual registre 3.7 ± 0.3 kPa. (27.5 ± 2.5 mm Hg) (ver **Fotografía E 23.4c**). Mantenga esta presión residual por 15 ± 2 min**.** Agite el contenedor y contenidos durante el período de vacío ya sea continuamente por un dispositivo mecánico, o manualmente (como se muestra en **Fotografía E 23.5**) por sacudidas vigorosas a intervalos alrededor de dos minutos. Los contenedores de vidrio deberán ser sacudidos en una superficie elástica como un caucho o una alfombrilla plástica, y no en una superficie dura, para evitar impactos excesivos mientras está bajo vacío.

Fotografía E 23. 3

Colocación y Pesado de la Muestra.
a) Colación de la muestra en el picnómetro.
b) Pesado de la muestra en el picnómetro.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**



Fotografía E 23. 4

Proceso de la Aplicación de Vacío.
a) Muestra sumergida en agua, b) Aplicación de vacío y c) Manómetro registrando 25 mm Hg.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 8 – La liberación de aire entrampado puede ser facilitada por la adición de un agente adecuado humectante como Aerosol OT en concentración de 0.001 % o 0.2 gramos en 20 L de agua. Esta solución es entonces diluida cerca de 20:1 para hacer un agente humectante del cual 5 a 10 ml pueden agregarse al equipo.

Fotografía E 23. 5 **Proceso de Agitación Manual Durante la Aplicación de Vacío**.

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

10.5. Al final del período de vacío, libere el vacío a una razón de decrementos de vacío que no exceda a 8 kPa por segundo y proceda con una de las siguientes determinaciones:

10.5.1. *Pesado en Agua*.— Suspenda el contenedor y contenidos en el baño maría y determine la masa después de 10 ± 1 minuto de inmersión. Mida la temperatura del baño maría, y si difiere de 25 ± 1 ° C (77 ± 1.8 ° F), corrija la masa a 25 °C usando el ajuste de temperatura de calibración desarrollado en la Sección 9.1. Designe la masa de la muestra en agua a 25 °C como **C**.

NOTA 9 — En lugar de usar una gráfica como en la Figure 2 para establecer la corrección de masa para la temperatura del contenedor de vacío sumergido por sí mismo en el baño maría, esta corrección puede ser fácilmente establecida rápida y completamente vaciando el contenedor de vacío inmediatamente después de la pesada final, y entonces sin demora, pesar el envase cuando esta sumergido completamente por sí mismo en el baño maría.

10.5.2. *Pesado en Aire*.— Llene el frasco o cualquiera de los picnómetros con agua y ajuste los contenidos a una temperatura de 25 ± 1 °C (77 ± 1.8 °F). Determine la masa del contenedor y contenidos, completamente lleno, de conformidad con la sección 9.2 en 10 ± 1 min. después de complementar la sección 10.4. Designe esta masa como **E**.

NOTA 10 — Vea el apéndice para corregir la gravedad específica teórica máxima cuando las mediciones son hechas a otra temperatura diferente de 25 ° C.

11. CÁLCULOS

11.1. Calcule la gravedad específica teórica máxima de la muestra a 25 °C (77 °F) como sigue:

11.1.1. Pesado *en Agua*:

$$\text{Gravedad Específica Teórica Máxima} = \frac{A}{A - C} \qquad (2)$$

Donde:
A = masa de muestra seca en horno, en aire, g y
C = masa de agua desplazada por la muestra a 25 °C (77 ° F), g.

11.1.2. Pesado en Aire:

$$\text{Gravedad Específica Teórica Máxima} = \frac{A}{A + D - E} \qquad (3)$$

Donde:
A = masa de muestra seca en horno, en aire, g
D = masa de picnómetro llenó con agua a 25 °C (77 °F), g, y
E = masa de picnómetro lleno con agua y muestra a 25 °C (77 °F), g.

11.1.3. **Determinaciones para Picnómetro Plástico de Tamaño Grande:**

11.1.3.1. Si la temperatura de ensayo está dentro de +1.7 ó -2.8 °C (+3 a -5 °F) de 25 °C (77 °F), eso está, entre 22.2 y 26.7 °C (72 y 80 °F), la ecuación 3 puede ser usada para calcular la gravedad específica dentro de un error de 0.001 puntos o menos debido a efectos térmicos.

10.1.3.2. Si la temperatura de ensayo difiere significativamente de 25 °C (77 °F), corrija por los efectos térmicos como sigue:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{A}{(A+F)-(G+H)} \times \frac{dw}{0.9970}$$

Donde:
A = masa de la muestra seca en aire, g;
F = masa de picnómetro lleno con agua a la temperatura de ensayo (Grafico E 23.3), g;
G = masa de picnómetro llenado con agua y muestra a la temperatura de ensayo, g;
H = corrección por la expansión térmica del betún (Grafico E 23.4), g;
dw = densidad del agua a la temperatura de ensayo, Curva D en la Figura 6, mg/m^3; y
0.9970 = densidad de agua a 25 °C (77 °F), mg/m^3.
La relación (dw/0.9970) es Curva R en Grafico E 23.5.

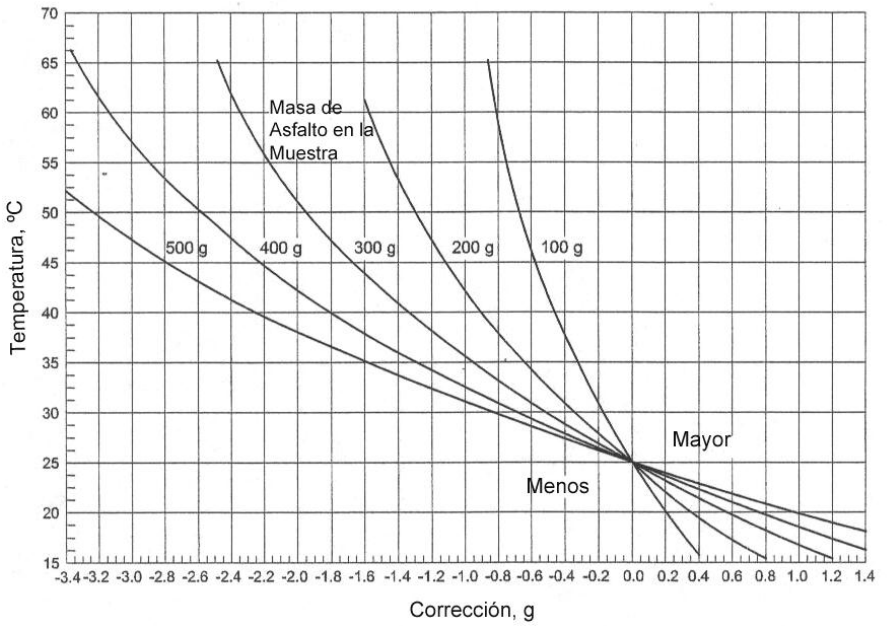


Grafico E 23.4. **Curva de Corrección por Expansión de Asfalto, H, en Ecuación 4**.

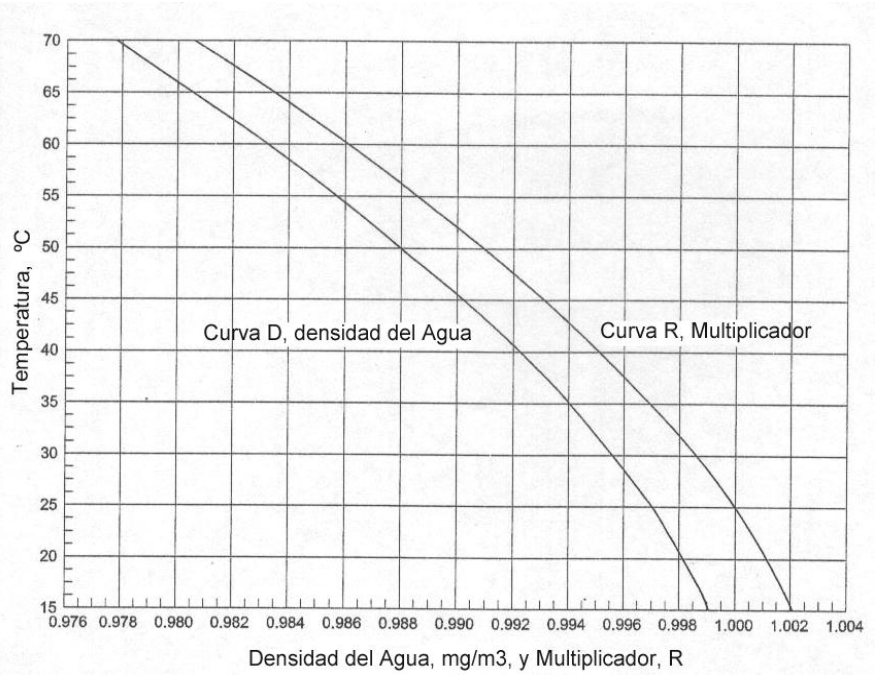


Grafico E 23.5. Curva D y R para Ecuación 4.

NOTA 11 ─ Este procedimiento general para corrección por efectos térmicos también deberá ser aplicado a medidas correspondientes hechas con otros contenedores adecuados.

11.1.4. Cuándo sea necesario ensayar una porción de muestra a la vez, la diferencia entre la gravedad específica máxima de cada porción deberá estar dentro de las declaraciones de precisión listadas en la Sección 14. Si los valores están dentro de las declaraciones de precisión, las gravedades específicas de cada porción serán promediadas. Si los valores están fuera de las declaraciones de precisión, entonces, el ensayo se realizará de nuevo.

NOTA 12 ─ Cuando muestras son ensayadas una porción a la vez, la diferencia entre la gravedad específica máxima de cada porción pueden ser mayor que las listadas en la Sección 14. Si hay una preocupación sobre el resultado del ensayo, entonces deberá de realizarse otro ensayo nuevamente y los resultados de los dos ensayos

11.2. *Densidad teórica máxima a 25 ° C (77 ° F)*:

11.2.1. Calcule la correspondiente densidad teórica máxima a 25 °C (77 °F) como sigue:

Densidad teórica máxima a 25 °C (77 °F) = gravedad específica teórica máxima x *997.1 kg/m^3 en unidades SI, o*

Densidad teórica máxima a 25 °C (77 °F) = gravedad específica teórica máxima x *62.245 lb/ft^3 en unidades de la libra - pulgada.*

Donde:
La gravedad específica del agua a 25 ° C (77 ° F) = 997.1 en unidades SI ó = 62.245 en unidades de la libra - pulgada.

12. PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO PARA MEZCLAS QUE CONTIENEN AGREGADO POROSO.

NOTA 13 — Experimentos indican que el procedimiento suplementario tiene un efecto insignificante en los resultados de ensayos si la mezcla contiene agregado individual con una absorción de agua abajo de 1.5 por ciento.

12.1. Si los poros de los agregados no son completamente sellados por una película bituminosa, entonces, pueden comenzar a saturarse con agua durante el procedimiento de evacuación. Para determinar si esto ha ocurrido, proceda como sigue después de completar el procedimiento de conformidad con la Sección 10.5.1 ó 10.5.2 drene el agua de la muestra. Para prevenir pérdida de partículas finas, decante el agua a través de una toalla mantenida sobre la parte superior del contenedor. Rompa varios pedazos grandes de agregado y examine las superficies quebradas para ver si tienen humedad.

12.2. Si el agregado ha absorbido agua, entonces extienda la muestra antes de airearla eléctricamente para remover la humedad de la superficie. Pese en intervalos de 15 minutos, y cuando la pérdida en masa es menor que 0.05 % para este intervalo, la

muestra puede ser considerada con superficie seca. Este procedimiento requiere aproximadamente dos horas y será acompañado por un apisonamiento intermitente de la muestra. Despedace conglomeraciones de mezcla a mano. Esfuércese por prevenir la pérdida de partículas de mezcla.

12.3. Para calcular la gravedad específica de la muestra, sustituya al final la masa de superficie seca por A en el denominador de la Ecuación 2 ó 3.

13. REPORTE

13.1. Reporte la siguiente información:

13.1.1. Gravedad específica y densidad de la mezcla con tres cifras decimales como: Gmm 25/25 ° C (77/77 ºF) ó densidad a 25 °C,

13.1.2. Tipo de mezcla,

13.1.3. Tamaño de la muestra,

13.1.4. Numero de muestras,

13.1.5. Tipo de contendor, y

13.1.6. Tipo de procedimiento.

14. PRECISIÓN

14.1. Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de ensayos de gravedad específica, obtenidos por este método de ensayo son dados en la **Tabla E 23.2**:

Tabla E 23.2. **Precisión para Gravedad Específica Teórica Máxima**

	Desviación Estándar (1S)	Rango Aceptable de dos Resultados (D2S)
Resultado de ensayos obtenidos Fuera del uso de Sección 12[a] Precisión de un solo operador	0.0040	0.011
Precisión multilaboratorio	0.0064	0.019
Resultado obtenidos de ensayos Con uso de Sección 12 aplicable sólo[b] para determinación por tazón. Precisión de un solo operador	0.0064	0.018
Precisión multilaboratorio	0.0193	0.055

[a] Bases de estimación: 3 repeticiones, 5 materiales, 5 laboratorios.
[b] Bases de estimación: 2 repeticiones, 7 materiales, 20 laboratorios.

14.2. Los valores dados en Columna 2 son las desviaciones estándar que han sido encontradas apropiadas para las condiciones de ensayo descritas en Columna 1. Los valores dados en Columna 3 son los límites que no se pueden exceder por la diferencia entre los resultados de dos ensayos realizados correctamente. La precisión de multilaboratorio no se ha verificado para el picnómetro de 4500-ml, o picnómetro grande

14.3. Los valores en Columna 3 son el rango aceptable para dos ensayos. Cuando más de dos resultados estén siendo evaluados, el rango dado en la Columna 3 debe ser aumentado. Multiplique la desviación estándar (s) en Columna 2 por el multiplicador dado en la Tabla 1 de la Practica ASTM C 670 por el número de ensayos reales.

Ejemplo para tres ensayos: 0.020 x 3.3 = 0.066.
La guía adicional y los antecedentes reciben en Practica ASTM C 670.

Tabla 1 ─ Influencia de Corrección de Temperatura para un Volumen Medido a 20 ° C de una Masa Dada de Mezcla de Pavimentación Suelta, para Proveer los Requisitos de la Gravedad Específica Teórica Máxima 25 ° C.

Temperatura ° C.	Volumen de Mezcla Suelta a 20 ° C.	Volumen Corregido Por Cambio de Temp.	Volumen Corregido a 20 ° C, Mezcla suelta	Masa de Mezcla suelta	Gravedad Específica, mezcla suelta
1	**2**	**3**	**4 = 2+3**	**5**	**6 = 5 / 4**
31	492.77	0.2046	492.975	1251.3	2.5383
30[a]	492.77	0.1860	492.956	1251.3	2.5384
29[a]	492.77	0.1674	492.937	1251.3	2.5385
28[a]	492.77	0.1488	492.919	1251.3	2.5386
27[a]	492.77	0.1302	492.900	1251.3	2.5386
26[a]	492.77	0.1116	492.882	1251.3	2.5387
25[a]	492.77	0.0930	492.863	1251.3	2.5388
24[a]	492.77	0.0744	492.844	1251.3	2.5389
23[a]	492.77	0.0558	492.826	1251.3	2.5390
22[a]	492.77	0.0372	492.807	1251.3	2.5391
21[a]	492.77	0.0186	492.789	1251.3	2.5392
20	492.77	0.0000	492.772	1251.3	2.5393
19	492.77	-0.0186	492.751	1251.3	2.5394

[a] Rango menor de 0.0005.

Notas --- En rigor, la tabla citada anteriormente de la gravedad específica para esta mezcla en particular, medida a 20 ° C, justamente no puede responsabilizarse por la densidad específica máxima teórica corregida en 25 ° C, 2.5388 versus 2.5393, esto es, a las 0.0005, y que una corrección de temperatura sería requerida Si la medida para el volumen había estado hecha en 21 °C, la tabla señala que ninguna corrección de temperatura habría sido menester, porque la medida en 21 ° C habría satisfecho la gravedad específica teórica máxima en 25 ° C, 2.5388 versus 2.5392, una diferencia de menos de 0.0005.

23.0 APÉNDICE

(Información no obligatoria)

23.A1. GRAVEDAD ESPECÍFICA TEORICA MÁXIMA PARA UNA MEZCLA DE PAVIMENTACIÓN SUELTA.

23.A1.1. *Alcance*:

23.A1.1.1. Este Apéndice Tiene Dos Objetivos:

23.A1.1.1.1. Para indicar un método para corregir la gravedad específica teórica máxima a 25 ° C cuando los valores son obtenidos a una temperatura diferente de 25 ° C.

23.A1.1.1.2. Indicar el rango de temperatura en ° C arriba o abajo de 25 ° C dentro de la cual ninguna corrección de temperatura es requerida, porque los valores específicos teoricos máximos medidos son mostrados a 0.0004 o menos del valor para 25 ° C.

23.A1.2. *Indicar Valores*:

23.A1.2.1. Lo siguiente es indicado para la gravedad específica teórica máxima de una mezcla suelta de pavimentación:

23.A1.2.1.1. Masa de mezcla de la pavimentación suelta = 1251.3 g.

23.A1.2.1.2. El volumen de mezcla de la pavimentación suelta en 25 ° C = 492.77 mL.

23.A1.2.1.3. El contenido del asfalto = 5.0 por ciento del total de la mezcla.

23.A1.2.1.4. Densidad específica de asfalto en 25 ° C = 1.029.

23.A1.2.1.5. ASTM gravedad específica de agregado bulk = 2.714

23.A1.2.1.6. Coeficiente Cúbico de expansión de asfalto a 20 °C= 6.2 x 10-4 ml/ml/ °C (Práctica D 431 1).

23.A1.2.1.7. Coeficiente Cúbico de expansión de agregado en 20 °C = 2.2 x 10^{-5} ml/ml $°C^2$.

23.A1.3. *Base de Calculación para un gramo mezcla de pavimentación a 20 °C*:

23.A1.3.1. Masa de asfalto = 0.05 g.

23.A1.3.2. Volumen de asfalto = 0.05/1.029 = 0.0486 ml.

23.A1.3.3. Masa de agregado = 0.95 g.

23.A1.3.4. Volumen de agregado = 0.95 / 2.714 = 0.3500 ml.

23.A1.3.5. Volumen de asfalto y agregado en un gramo de mezcla de la pavimentación suelta a 20 ° C = 0.0486 + 0.3500 = 0.3986 ml.

23.A1.4. *Base de Calculación para Cambio de Volumen de Un Gramo de Mezcla de Pavimentación Suelta para l ° C de 20 ° C:*

23.A1.4.1. Cambio de volumen para asfalto = $6.2 \times 10^{-4} \times 0.0486 = 0.3013 \times 10^{-4}$ ml = 3.0130×10^{-5} ml.

23.A1.4.2. Cambio de volumen para agregado = $2.2 \times 10^{-5} \times 0.3500 = 0.77 \times 10^{-5}$ ml.

23.A1.4.3. Cambio de volumen para un gramo de mezcla suelta de la pavimentación para cambiar 1 ° C en la temperatura de 20 ° C = $3.0130 \times 10^{-5} + 0.7700 \text{ x} = 3.7830 \times 10^{-5}$ ml..

23.A1.5. Corrección del Volumen:

23.A1.5.1. Para una diferencia en temperatura de agua de 1 ° C arriba o abajo de 20 ° C, una corrección para el volumen de agua desplazado por un gramo de mezcla de la pavimentación suelta puede ser hecha por la siguiente ecuación:

$$Corrección = \nabla T \times K_T \times V_T \ ml \qquad (5)$$

Donde:

ΔT = 1 ° C

K_T = Cambio de volumen para 1 g de mezcla suelta de pavimentación para 1 °C de cambio en la temperatura arriba o abajo de 20 ° C = 3.7830×10^{-5} mL, y

V_T = Volumen de agua que corresponde a masa 1251.3 g de mezcla de pavimentación suelta en la temperatura de ensayo de 20 ° C = 492.77 ml.

Sustituir en la ecuación dada:

Corrección = $1 \times 3.7830 \times 10^{-5} \times 492.77$ ml = 0.01864 ml por gramo a 20 ° C.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: Universidad de El Salvador
Proyecto: Trabajo de Graduación
Procedencia: Muestra elaborada en laboratorio
Fecha de muestreo: _____ Muestra No. _____
Material: Mezcla de 1/2"
Ubicación: _____
Laboratorista: _____ Fecha de ensayo: _____

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCCLAS BITUMINOSAS
AASHTO T 166

		BRIQUETA 1	BRIQUETA 2	BRIQUETA 3
Temperatura del agua (^{O}C)	25 ^{o} C			
Peso seco en aire (g)	A	1229	1227.8	1232.5
Superficie Saturada Seca (SSS)	B	1229.8	1228.2	1233.7
Peso sumerdigo en agua (g)	C	682.1	686	681.6
Densidad Relativa del agua	E	1.000		
	F=(B-c)*E	547.7	542.2	552.1
Gravedad Específica Bulk	G_{eb} = A/F	**2.244**	2.264	**2.232**
Promedio G_{eb}		**2,238**		

GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS
AASHTO T 209

		Muestra 1	Muestra 2
Peso del picnómetro sólo (g)	1658		
Peso del picnómetro + muestra (g)	3758		
Peso de la muestra en el aire (g)	A		2100.0
Peso del picnómetro + agua (g)	D		11765.0
Peso del picnómetro + agua + muestra (g)	E		12996.0
Volumen de agua	V = A+D-E		869.0
Gravedad Específica Teórica Máxima	G_{em} = A / V		**2.417**
Promedio de Gra. Esp. Teo. Máx.		**2.417**	
Porcentaje de vacíos %	(G_{em} - G_{eb}) / G_{em} * 100		7.4 %

Ensayo No. 24.

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS UTILIZANDO ESPECIMENES SATURADOS SUPERFICIALMENTE SECOS.

Basado en norma AASHTO: T 166-05

1. OBJETIVO

Al terminar el ensayo de laboratorio el lector será capaz de:

- Describir en forma general el procedimiento para realizar el ensayo.
- Definir los términos de la Gravedad Especifica Bulk
- Calcular los valores de Gravedad Especifica Bulk y la Absorción.
- Reconocer el equipo necesario para la ejecución del ensayo.

2. ALCALCE

2.1. Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica bulk de especimenes de mezclas asfálticas en caliente compactados.

2.2. *Definición:*

2.3. *Gravedad Específica Bulk (de sólidos)*- Es la relación del peso en aire por unidad de volumen de un material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables del material) a una temperatura determinada al peso en aire de igual densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura especificada. La forma de la expresión será:

Gravedad específica Bulk X/Y ° C (1)

Donde:

X = Temperatura del material, y

Y = Temperatura del agua

2.4. Este método no deberá ser usado con muestras que contengan poros abiertos o interconectados y/o absorben más del 2 por ciento de agua por volumen, como se determina en la Sección 6.2 a 9.2.

2.5. La gravedad específica bulk de mezclas en caliente compactadas con asfalto puede ser utilizada para calcular la masa unitaria de la mezcla.

2.5. Los valores declarados en unidades SI deben ser considerados como los estándar.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS.

3.1. *Normas AASHTO:*

M 231 Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos.

T 275 Gravedad Específica Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas Usando Especimenes Cubiertos con Parafina.

4. ENSAYO DE LOS ESPECIMENES

4.1. Los especimenes de ensayo pueden ser ya sea mezclas asfálticas moldeadas en laboratorio o de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente. Las mezclas pueden ser de capas superficiales de la capa de rodadura, capas de ligante o capas de nivelación, o base de mezclas en caliente.

4.2. *Tamaño de especimenes*-Es recomendado que: (1) El diámetro de especimenes moldeados cilíndricamente o de núcleos extraídos, la longitud de los lados de especimenes cortados, será al menos igual a cuatro veces el tamaño máximo del agregado; y (2) el espesor de especimenes será al menos una y media veces el tamaño máximo del agregado.

4.3. Los especimenes de pavimento serán tomados de una forma adecuada con un extractor de núcleos, con broca de diamante o de carbono, o por otro medio adecuado.

4.4. Tenga el cuidado evitando las deformaciones, desintegración, o agrietamiento de los especimenes durante y después de la extracción del pavimento o el molde. Los especimenes serán almacenados en un lugar seguro, fresco.

4.5. Los especimenes deberán estar libres de materiales extraños como capa de sello, capa de liga, materiales de la fundación, suelo, papel o aceite.

4.6. Si se desea, los especimenes pueden ser muestreados de otras capas del pavimento o cortando con sierra otras formas adecuadas. Se debe tener el cuidado para asegurar la extracción, sin hacer daño a los especimenes.

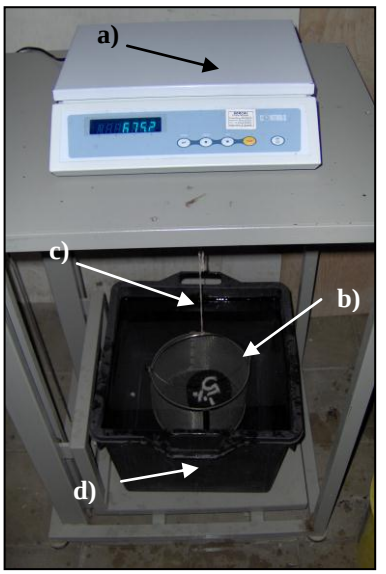
METODO A

5. EQUIPO

5.1. *Dispositivo de pesado*-El dispositivo de pesado tendrá suficiente capacidad, será legible a 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mejor, y conforme los requisitos de AASHTO M 231. El dispositivo de pesado estará acondicionado con un accesorio adecuado de suspensión y una agarradera para permitir tomar el peso del espécimen mientras esta suspendido el centro de la canastilla del dispositivo de pesado.

5.2. *Equipo de Suspensión*.-El alambre para suspender la canastilla será delgado para minimizar cualquier efecto posible de una longitud de inmersión variable. El equipo de suspensión será construido de manera que la canasta permita sumergir la muestra a una profundidad suficiente para cubrirla durante el proceso de pesado. Teniendo cuidado de no dejar burbujas de aire atrapadas debajo del espécimen.

5.3. *Baño de Maria*.-Para sumergir el espécimen en el agua mientras esta suspendido en el dispositivo de pesado, el equipo deberá tener un conducto de rebose a manera de mantener un nivel constante de agua.



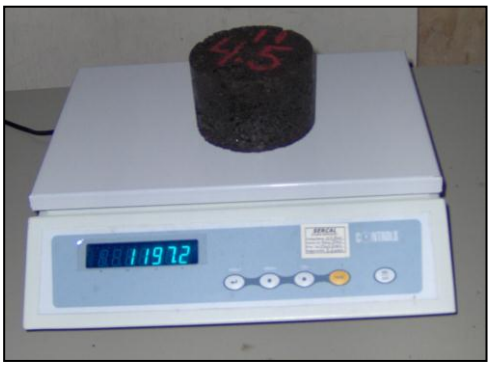
Fotografía E 24.1.

Dispositivo de pesado:
a) Balanza de 0.1 g **b) Canastilla metálica**
c) Alambre suspensor **d) Baño de agua.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

6. PROCEDIMIENTO

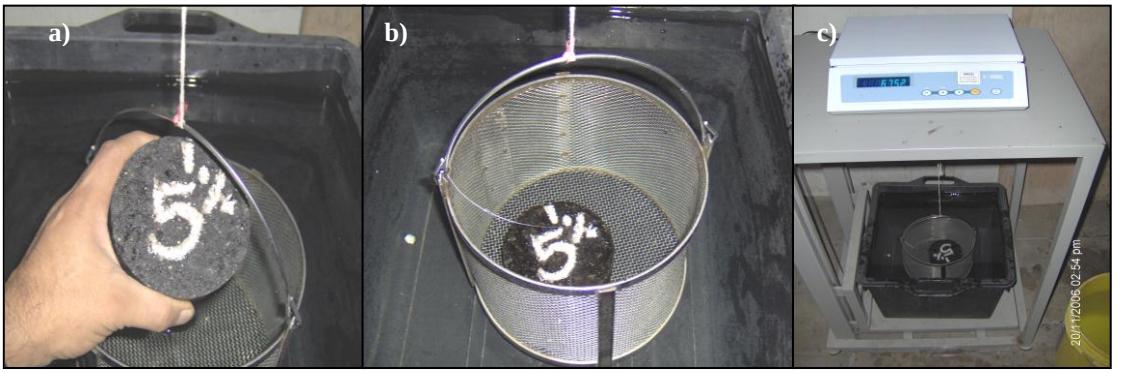
6.1 Seque el espécimen hasta una masa constante (**NOTA 1**). Enfríe el espécimen a temperatura del cuarto de 25 ± 5 °C (77 ± 9 °F), pese y registre como masa seca A.



Fotografía E 24.2. **Registrando como masa seca A.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

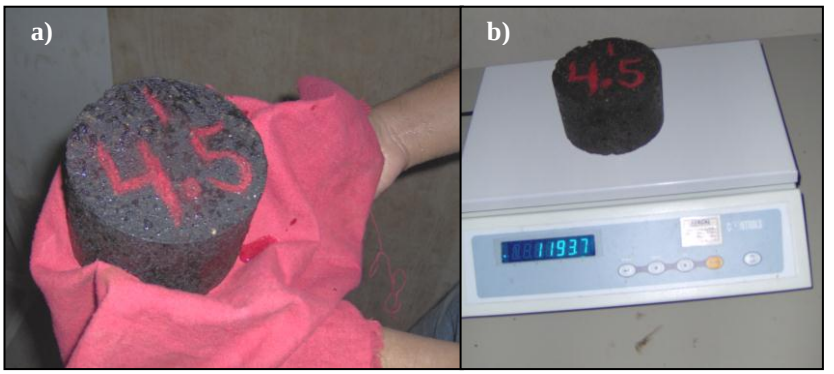
Sumerja cada espécimen en la canasta, en agua a 25 ± 1 ° C (77 ± 1.8 °F) por 4 ± 1 minuto, registre como masa sumergida C. (**Fotografía E 24.3.**).



Fotografía E 24.3. **a) Colocando el espécimen b) Sumergido por 1 min c) Registrando como masa sumergida C**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

Remueva el espécimen del agua, secando la humedad del espécimen con papel toalla o una toalla húmeda tan rápido como sea posible, y registre la masa superficialmente seca como B. (Ver **Fotografia E 24.4.**). El agua que escurra del espécimen durante la operación de pesado es considerada parte del espécimen saturado (**NOTA 1**). Cada espécimen será sumergido y pesado individualmente.



Fotografía E 24.4. **a) Secado del espécimen b) Registrando la masa B.**

Fotografía tomada en Laboratorio "Ing. Mario Angel Urbina" de la **Esc. Ing. Civil U.E.S.**

NOTA 1- La masa constante será definida como la masa en la cual adicionalmente secada a 52 ± 3 ° C (125 ± 5 ° F) no cambia la masa por más de 0.05 por ciento. Las muestras saturadas inicialmente con agua serán secadas durante la noche a 52 ± 3 ° C (125 ± 5 ° F) y entonces pesadas en intervalos de secado de dos horas. Las muestras del laboratorio recientemente moldeadas, las cuáles no han estado expuestas a la humedad, no requieren el proceso de secado.

NOTA 2- Si se desea, la secuencia de las operaciones de ensayo puede variarse para agilizar los resultados. Por ejemplo, primero la masa sumergida puede ser tomada C, luego la masa superficialmente seca B, y finalmente la masa seca A.

NOTA 3- Se ha encontrado que tela de rizo opera adecuadamente como una tela absorbente. La humedad está considerada cuando el agua no esta escurriendo de la toalla.

7. CALCULOS

7.1 Calcule la gravedad específica bulk del espécimen como sigue (redondee y reporte colocando el valor con aproximaciones de tres decimales):

$$\text{GravedadEspecificaMasa} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Masa al aire del espécimen en gramos.

B = Masa al aire del espécimen saturado superficialmente seco en gramos, y

C = Masa sumergida en el agua en gramos.

7.2. Calcule el porcentaje de agua absorbida por el espécimen (basado en un volumen) como sigue:

$$\%\text{Absorción} = \left[\frac{B - A}{B - C}\right] \times 100$$

7.3. Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen calculado como en la Sección 7.2 excede el 2%, entonces determine la gravedad específica bulk utilizando la AASHTO T 275.

METODO B

8. EQUIPO

8.1. *Dispositivo de Pesado*- el dispositivo de pesado deberá tener suficiente capacidad, será legible al 0.1 por ciento de la masa de la muestra o mejor, y cumpla los requisitos de M 231.

8.2 Baño María-con un termostato para controlar y mantener el agua a una temperatura de 25 ± 0.5 °C (77 ± 0.9 °F).

8.2. *Termómetro*-ASTM 17C (17F), tendra un rango de 19 a 27 °C (66 a 80 °F), graduado en subdivisiones de 0.1 °C (0.2 °F).

8.3. *Volúmetro*-Calibrado a 1200 ml, o una capacidad apropiada dependiendo del tamaño de la muestra de ensayo. El volúmetro tendrá una tapadera ahusada con un agujero capilar.

Figura E 24.1 **Volumetro con tapadera ahusada con agujero capilar.**

Tomado de GILSON COMPANY, INC. Pag. 58. Volumeters PTM 715,716.

9. PROCEDIMEINTO

9.1. Secar los especimenes hasta masa constante (ver **NOTA 1**). Enfrié el espécimen a temperatura del cuarto a 25 ± 5 ° C (77 ± 9 ° F) y registre como masa seca A. Sumerja al espécimen en el baño maría, y déjelo saturar por lo menos 10 minutos. Al final del período de 10 minutos, llene un volúmetro calibrado con agua destilada a 25 ± 1 °C (77 ± 1.8 °F). Remueva el espécimen saturado del baño maría, secando la humedad del espécimen con papel absorbente o con una toalla húmeda tan rápido como sea posible. Pese al espécimen y registre como masa superficialmente seca B. El agua que escurra del espécimen durante la operación de pesado será considerada parte del espécimen saturado.

9.2. Coloque al espécimen dentro del volúmetro, y déjelo por un mínimo de 60 segundos. Lleve el agua a la temperatura de 25 ± 1 ° C (77 ± 1.8 ° F), y tape el volúmetro, cerciorándose de alguna fuga de agua a través del vaso capilar agujereado de la tapa ahusada. Seque el volúmetro con una tela absorbente seca, y pese el volúmetro y sus contenidos (**NOTA 4**). Registre este peso como E.

NOTA 4-Si se desea, la secuencia de las operaciones de ensayo pueden variarse para agilizar los resultados. Por ejemplo, primero la masa saturada, superficie seca del espécimen puede ser tomado B. Luego el volúmetro conteniendo al espécimen saturado y el agua E puede ser pesado. Por ultimo, la masa seca del espécimen A puede ser determinada

NOTA 5-El método B no es aceptado para especimenes que tienen más del seis por ciento de vacíos de aire.

10. CALCULOS

10.1. Calcule la gravedad específica bulk del espécimen como sigue (redondee y reporte colocando el valor con aproximaciones de tres decimales):

$$\text{GravedadEspecificaMasa} = \frac{A}{B + D - E}$$

Donde:

A = Masa seca, en gramos.

B = Masa superficialmente seco, en gramos.

D = Masa del volúmetro llenó de agua a 25 ± 1 °C (77 ± 1 .8 °F), en gramos y

E = Masa del volúmetro llenó de agua y el espécimen a 25 ± 1 ° C (77 ± 1.8 ° F), en gramos.

10.2. Calcule el porcentaje de agua absorbido por el espécimen (basado en un volumen) como sigue:

$$\%\text{Absorción} = \left[\frac{B - A}{B + D - E}\right] \times 100$$

10.3. Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen calculado como en la Sección 9.2 excede el 2%, entonces determine la gravedad específica bulk utilizando la norma AASTHO T 275.

METODO C (PRUEBA RAPIDA)

11. PROCEDIMIENTO

11.1. Este procedimiento puede ser usado para ensayar especimenes, que no se requieren conservar y que contengan una cantidad considerable de humedad. Los especimenes obtenidos por extracción de núcleos o cortados con sierra pueden ser ensayados el mismo día, por este método.

11.2. El procedimiento de ensayo será el mismo como el dado en las Secciones 5 y 8 excepto por la secuencia de operaciones. La masa seca A del espécimen es determinada al final, de la siguiente forma.

11.3. Coloque el espécimen en una charola de fondo plano y grande, de masa conocida. Coloque la charola y espécimen en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Deje el espécimen en el horno hasta que este pueda ser fácilmente separado, hasta el punto donde las partículas de la porción fina del agregado del asfalto no sean mayores que 6.4 mm (1/4 pulg.). Coloque el espécimen separado en el horno a 110 °C (230 °F), secando hasta masa constante. La masa constante estará definida como el peso en el cual adicionalmente secando a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) no se modifica la masa por más de 0.05 por ciento cuando es pesado en intervalos de 2 horas.

11.4. Enfríe la charola y el espécimen a la temperatura de 25 ± 5 ° C (77 ± 9 ° F). Determine la masa de la charola y el espécimen, sustraiga la masa de la charola y registre como masa seca A.

12. CALCULOS

12.1. Calcule la gravedad específica bulk como las Secciones 7.1 y 10.1.

13. REPORTE

13.1. El reporte deberá incluir lo siguiente:

13.1.1. El método utilizado A, B, o C.

13.1.2. La gravedad específica bulk reportarla con aproximaciones de 3 decimales.

13.1.3. La absorción reportarla con aproximación a 2 decimales.

14. PRECISION

14.1. Los resultados de dos ensayos de gravedad específica por el mismo operador no deberán ser considerados sospechosos a menos que difieran por más de 0.02.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

Solicitante: UES
Proyecto: Trabajo de graduación
Procedencia
Fecha de muestreo: Muestra No.
Material:
Ubicación:
Laboratorista: Fecha de ensayo:

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCCLAS BITUMINOSAS
AASHTO T 166

		BRIQUETA 1	BRIQUETA 2	BRIQUETA 3
Temperatura del agua (^{O}C)	25 ^{o} C			
Peso seco en aire (g)	A	1229	1227,8	1232,5
Superficie Saturada Seca (SSS)	B	1229,8	1228,2	1233,7
Peso sumerdigo en agua (g)	C	682,1	686	681,6
Densidad Relativa del agua	E	1.000		
	F=(B-c)*E	547,7	542,2	552,1
Gravedad Específica Bulk	G_{eb} = A/F	**2.244**	2.264	**2.232**
Promedio G_{eb}		**2,238**		

GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS
AASHTO 209

		Muestra 1	Muestra 2
Peso del picnómetro sólo (g)	1658		
Peso del picnómetro + muestra (g)	3758		
Peso de la muestra en el aire (g)	A		2100.0
Peso del picnómetro + agua (g)	D		11765.0
Peso del picnómetro + agua + muestra (g)	E		12996.0
Volumen de agua	V = A+D-E		869.0
Gravedad Específica Teórica Máxima	G_{em} = A / V		**2.417**
Promedio de Gra. Esp. Teo. Máx.		**2.417**	
Porcentaje de vacíos %	(G_{em} - G_{eb}) / G_{em} * 100		7.4 %

Ensayo No. 25.

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (MAC)

Basado en norma AASHTO: T 164-05
con equivalencia en norma ASTM: D 2172-01

1. OBJETIVOS

Al finalizar el ensayo el lector será capaz de:

- Realizar la extracción de ligante asfáltico por el método A de la norma AASHTO.
- Conocer el equipo necesario para la realización de este ensayo.
- Calcular el ligante extraído a una muestra de mezcla asfáltica.

2. ALCANCES

1.1 Este método cubre la determinación cuantitativa de ligante asfáltico en mezclas para pavimentación y muestras de pavimentos. Los agregados obtenidos por este método pueden servir para análisis por tamizado usando el método de ensayo AASHTO T 30.

1.2 Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar.

1.3 Este estándar puede involucrar materiales, operaciones, y equipo peligrosos. Esta norma no se propone tratar todos los problemas de seguridad relacionados con su uso. Es responsabilidad de los usuarios de esta norma establecer prácticas de seguridad y de salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso. Los peligros específicos están dados en la sección 8.

NOTA 1— Los resultados obtenidos por este método pueden ser afectados por la edad del material ensayado, con muestras más viejas se tiende a obtener ligeramente un contenido inferior de ligante asfáltico. Mejores resultados cuantitativos son obtenidos cuando el ensayo se realiza en mezclas y pavimentos poco después de su preparación.
Es dificultoso remover todo el ligante asfáltico cuando algunos agregados son usados y algunos solventes pueden quedarse dentro del material mineral, afectando el contenido de ligante asfáltico extraído.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1. *Normas AASHTO:*

M 231, Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos

R 16, Información Regulatoria para Químicos Usados en Ensayos AASHTO

T 30, Análisis Mecánico de Agregado Extraído

T 44, Solubilidad de Materiales Bituminosos

T 84, Gravedad Específica y Absorción de Agregado Fino

T 110, Humedad o Destilados Volátiles en Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC)

T 168, Muestreo de Mezclas Bituminosas de Pavimentación

T 170, Recuperación de Asfalto de Solución por el Método Abson

T 228, Gravedad Específica de Materiales Bituminosos Semi-Sólidos

T 248, Reducción de Muestras de agregados a tamaños de ensayo

3.2. *Normas ASTM*:

C 670, Práctica Recomendada para la Preparación de Informes de Precisión y Tendencia para Métodos de Ensayo en Materiales de Construcción

D 604, Especificación para Pigmentos de Sílice Diatomácea

D 2111, Ensayo para Gravedad Específica de Solventes Orgánicos Halogenados y sus Adiciones

D 4080-96, Especificación estándar para Tricloroetileno, Grado Técnico y Desengrasamiento por Vapor

D 6368, Especificación Estándar para Desengrasamiento por Vapor y Propilbromuro Normal Grado General

4. RESUMEN DE MÉTODOS DE ENSAYO

4.1. La MAC es extraída con tricloroetileno, propil bromuro normal, o cloruro de metileno, usando el equipo de extracción aplicable para el método en particular. Extracto de Terpeno puede ser usado en los métodos A o E. El contenido de ligante asfáltico es calculado por diferencias de masa del agregado extraído, contenido de humedad, y la extracción de material mineral. El contenido de ligante asfáltico es expresado como el porcentaje en masa de mezclas libres de humedad.

5. SIGNIFICADO Y USO

5.1 Todos los métodos pueden ser usados para la determinación cuantitativa de ligante asfáltico en MAC y en muestras de pavimentos para aceptación de especificaciones, servicio de evaluación, control de calidad, e investigación. Cada método prescribe el solvente y cualquier otro reactivo que puede ser usado en dicho método. AASHTO T 170 requiere que los métodos A o E sean usados y tricloroetileno de grado reactivo cuando el ligante asfáltico es recuperado de la solución.

6. EQUIPO

6.1. *Horno* — capaz de mantener la temperatura a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F).

6.2. *Bandeja* — plana, de tamaño apropiado para calentar los especimenes de ensayo.

6.3. *Balanza* — La balanza tendrá suficiente capacidad, será legible al 0. 1 por ciento de la masa de la muestra, o mejor, y estará conforme a los requisitos de AASHTO M 231.

6.4. *Plato calentador* — eléctrico, con tasa de calefacción regulable.

6.5. *Probeta graduada* —de 1000 o 2000-ml de capacidad. Probeta opcional, con capacidad de 100-ml.

6.6 *Plato de ignición*—con capacidad mínima de 125-ml.

6.7 Secador.

7. REACTIVOS

7.1. *Solución de carbonato de amonio* — Solución saturada de carbonato de amonio en grado reactivo [$(NH_4)_2CO_3$].

7.2. *Cloruro de metileno*, grado técnico. *Precauciones* — ver en la sección 8.

7.3. *Propil bromuro normal*, conforme a ASTM D 6368.

7.4. *Tricloroetileno*, grado reactivo (Nota 2) o de acuerdo a ASTM D 4080.

7.5. *Terpeno*—El extracto, no será halogenado, ni tóxico y fácilmente se disolverá en ligante asfáltico de MAC y se colocará dentro de la solución. Este extracto será fácilmente enjuagado del agregado remanente, sin formar un gel y el extracto enjuagado del agregado atravesará fácilmente la tierra de diatomácea y el filtro.

NOTA 2— Tricloroetileno de grado reactivo es requerido cuando se desea recuperar asfalto de la solución. (Ver AASHTO T 170, Nota 1.)

NOTA 3— Sólo hornos con escape serán usados cuando se utilice el extracto de terpeno.

8. PRECAUCIONES

8.1. Los solventes listados en la sección 6 deberán ser usados sólo bajo una cubierta o con un sistema efectivo de escape superficial en un área bien ventilada, ya que todos son tóxicos hasta cierto punto como se describe en R 16. Tricloroetileno, cloruro de metileno, propil bromuro normal en presencia de calor y humedad pueden formar ácidos que son sumamente corrosivos para ciertos metales, particularmente cuando están en contacto en períodos de tiempo largos. Se deberán tomar precauciones adecuadas para no permitir que estos solventes se queden en cantidades pequeñas en los tanques efluentes de extractores de vacío de aluminio.

8.2. El Tricloroetileno cuando es almacenado en un contenedor de acero y en contacto continuo con humedad puede descomponerse por la dehidrohalogenación formando líquidos no saturados de hidrocarburo y cloruro de hidrógeno. Los barriles de acero que contienen tricloroetileno, deberán guardarse en un lugar fresco y seco, conservándolos bien sellados y procurando abrirlos lo menos posible. El tricloroetileno deberá ser transferido de los barriles, a botellas de vidrio de color café, limpias y secas, para su uso

en laboratorio. El cloruro de hidrógeno en tricloroetileno descompuesto puede endurecer un asfalto durante la extracción y el ensayo de recuperación (T 170).

8.4. Todas las regulaciones locales, estatales y federales deben ser cumplidas cuando se transporte, use, almacene, y descarte extractos y agua de enjuague. Esto incluye ordenanzas de incendios así como también reglas de tratamiento de aguas residuales. Deberá ser colocada una hoja de datos de seguridad de los materiales, para evitar incendios y explosiones. El almacenamiento de trapos remojados con extracto deberá ser prohibido.

9. MUESTREO

9.1. Obtener muestras de acuerdo con AASHTO T 168.

9.2. *Preparación de especimenes de ensayo:*

9.2.1. Si la mezcla no es suficientemente blanda para separarla con una espátula o paleta**,** entonces colocarla dentro de una gran charola plana y calentar en un horno a unos 110 ± 5°C (230 ± 9°F) sólo hasta que pueda ser manipulada o separada**.** Partir o cuartear el material hasta que la masa de material requerida para ensayo sea obtenida**.**

9.2.2. El tamaño de la muestra de ensayo dependerá del tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla y se conformará al requisito de masa mostrado en la **Tabla E 25.1.** (**NOTA 4**).

Tabla E 25.1. **Tamaño de muestra**

Tamaño máximo nominal del agregado		**Masa mínima de muestra, kg**
mm	**pulg**	
4.75	(No. 4)	0.5
9.5	3/8	1
12.5	½	1.5
19.0	¾	2
25.0	1	3
37.5	1 ½	4

NOTA 4—Cuando la masa del espécimen de ensayo excede la capacidad del equipo a utilizar (para un método particular), el espécimen de ensayo puede ser dividido proporcionalmente en porciones adecuadas, ensayadas, y los resultados serán apropiadamente promediados para el cálculo de contenido de ligante asfáltico (Sección 13).

9.2.3. A menos que la muestra de la mezcla este libre de humedad (**NOTA 6**), un espécimen de ensayo es requerido para la determinación de humedad (Sección 10) en las mezclas. Tome este espécimen de ensayo de la muestra restante de la mezcla, inmediatamente después de obtener el espécimen de ensayo de extracción.

NOTA 5— Si el ensayo de extracción es realizado sólo para recuperar ligante asfáltico de la mezcla y el porcentaje de ligante asfáltico no está siendo determinado, es innecesario determinar el contenido de humedad de la mezcla.

10. CONTENIDO DE HUMEDAD

10.1. Cuando sea requerido, determine el contenido de humedad de la mezcla (Sección 9.2.3) de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 110.

NOTA 6—Si la recuperación del ligante asfáltico de la solución obtenida del ensayo de extracción no se requiere, el espécimen de ensayo entero puede ser secado en un horno a una temperatura de 149-163 ° C (300-325 ° F) de 2 a 2.5 horas antes de la extracción, en lugar de determinar el contenido de humedad (Sección 10).

10.2. Calcular la masa de agua (W_2, Sección 13.1) en la porción de ensayo de extracción multiplicando el porcentaje de masa de agua (Sección 10.1) por la masa de la porción de ensayo de extracción (W_1, Sección 13.1).

METODO DE ENSAYO A

11. EQUIPO

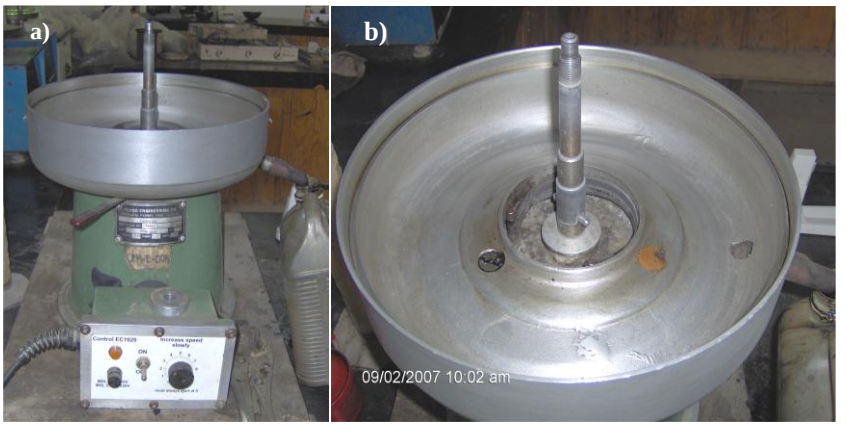
11.1 Además del equipo listado en la sección 6, el siguiente equipo es requerido para el método A:

11.1.1. *Aparato de extracción* (ver **Fotografía E 25.1.a)**), consistente en un tazón que es aproximadamente como el mostrado en la Fotografía E 25.1.b**)** y un aparato en el cual el

tazón pueda girar a velocidades variables controladas arriba de los 3600 r/min. La velocidad puede controlarse manualmente o con un control predeterminado de velocidad. El aparato debería ser provisto de un recipiente para atrapar el solvente arrojado del tazón y un tubo de desagüe para remover el solvente. El aparato preferentemente será provisto de características a prueba de explosiones e instalado en una cubierta o un sistema efectivo con tubo de escape a la superficie para proveer ventilación.

NOTA 7—Aparatos similares de mayor tamaño pueden ser usados.

11.1.2. *Filtro*— en forma de anillo, de fieltro o papel, que se ajuste al borde del tazón (ver Fotografía E 25.2.).



Fotografía E 25.1.

Aparato de extracción de asfaltos:
a) Toma completa del aparato de extracción de asfalto.
b) Sitio donde se ubica el tazón en el aparato de extracción.

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

11.1.3. *Filtros de papel de ceniza pobre* — en forma de anillo, puede ser utilizado en lugar del filtro de fieltro (Sección 11.1.2). Tales filtros constarán de papel para filtro de ceniza pobre con valores de 1.27 ± 0.03 mm (0.05 ± 0.005 pulg) de espesor. El peso base nominal del papel será 150 ± 14 kg (330 ± 30 Lb) para una resma (500 hojas, 635 por 965 mm (25 por 38 pulg)). El contenido de ceniza de papel no excederá de 0.2 por ciento (aproximadamente 0.034 g por anillo).

Fotografía E 25.2. **Filtro de papel para ser usado en el ensayo de extracción.**

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

NOTA 8— Donde el extracto de terpeno sea utilizado, los engranajes y el eje deben ser lubricados frecuentemente.

12. PROCEDIMIENTO

12.1. Determinar el contenido de humedad del material de acuerdo con la sección 10.

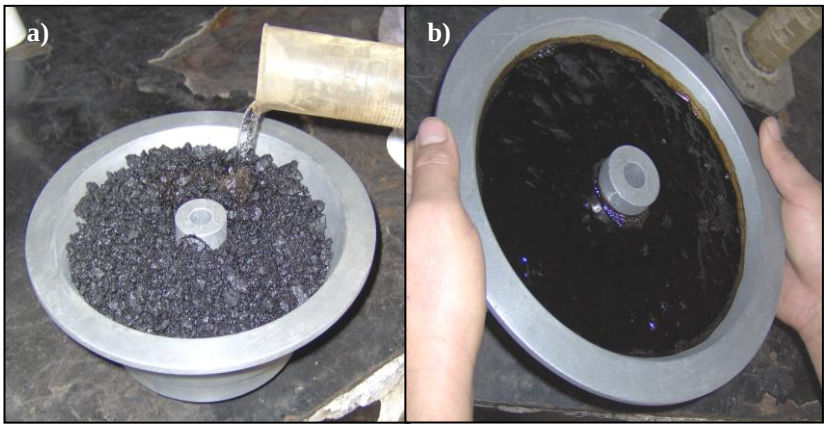
12.2. Colocar la porción de ensayo dentro del tazón (ver **Fotografía E 25.3.a)**).

Fotografía E 25.3. **a) Mezcla siendo vertida en el tazón, b) Mezcla en el tazón y c) Cantidad de mezcla pesada para este ensayo.**

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

12.3. Cubrir la porción de ensayo en el tazón con tricloroetileno, cloruro de metileno, propil bromuro normal o extracto de terpeno y darle suficiente tiempo para que el solvente se desintegre en la porción de ensayo (no más de 1 hora) (**ver Fotografía E 25.4.).** Colocar el tazón conteniendo la porción de ensayo y el solvente en el aparato de extracción (Fotografía E 25.6.b)). Secar el filtro hasta alcanzar una masa constante en un horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) y ajustarlo alrededor del borde del tazón (ver **Fotografía E 25.5.**). Afianzar la cubierta en el tazón con abrazadera firmemente y colocar un contenedor apropiado bajo del tubo de desagüe para recoger el extracto (**Fotografía E 25.6.c)**).

12.4. Iniciar la centrifugadora dando vueltas lentamente y que gradualmente aumente la velocidad a un máximo de 3600 r/min hasta que el solvente deje de fluir en el tubo de desagüe. Permitir que la máquina se detenga, añadir 200 ml de tricloroetileno (o más según lo apropiado para la masa de la muestra), o cloruro de metileno, propil bromuro normal o extracto de terpeno y repetir el procedimiento (**Fotografía E 25.6.d)**). Utilizar las suficientes adiciones de solventes de modo que el extracto no sea más oscuro que un color pajizo claro (amarillento). Depositar el extracto y los lavados en un contenedor apropiado para la determinación de materia mineral.



Fotografía E 25.4.

Disolución de mezcla asfáltica en solvente:
a) Cloruro de metileno siendo vertido en mezcla.
b) Solvente desintegrándose en mezcla.

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

Fotografía E 25.5. **Filtro en el borde superior del tazón de extracción.**

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

12.5. Transferir cuidadosamente el filtro y todo el agregado que está en el tazón de la centrifugadora en una bandeja tarada de metal (ver **Fotografía E 25.7.a)**). Secar al aire bajo una cubierta hasta que el humo se disipe, y luego hasta alcanzar una masa constante en un horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) (**NOTAS 9 Y 10**). La masa del agregado extraído (W_3) es igual a la masa del contenido en la bandeja menos la masa seca inicial del filtro. Retirar el material mineral adherido a la superficie del filtro y añadir el agregado extraído para ensayos posteriores.

NOTA 9 — El filtro y el agregado pueden quedarse dentro del tazón de la centrifugadora y secarse hasta alcanzar una masa constante en un horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) y determinar la masa.

NOTA 10 — El filtro puede ser secado separadamente hasta alcanzar una masa constante en un horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) con tal que se tenga el cuidado de no perder material fino que se ha pegado al filtro. Si este procedimiento es usado, el agregado puede entonces ser secado hasta alcanzar masa constante en un horno o en un plato caliente a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

Usar el siguiente procedimiento alternativo cuándo filtros de ceniza pobre son utilizados. Colocar el agregado y los filtros de anillos en una bandeja limpia de metal. Secar como se ha especificado anteriormente. Cuidadosamente plegar el filtro de anillo seco y manténgalo en el agregado. Quemar el filtro por ignición con un mechero Bunsen o un fósforo. Determinar la masa del agregado extraído en la bandeja (W_3).

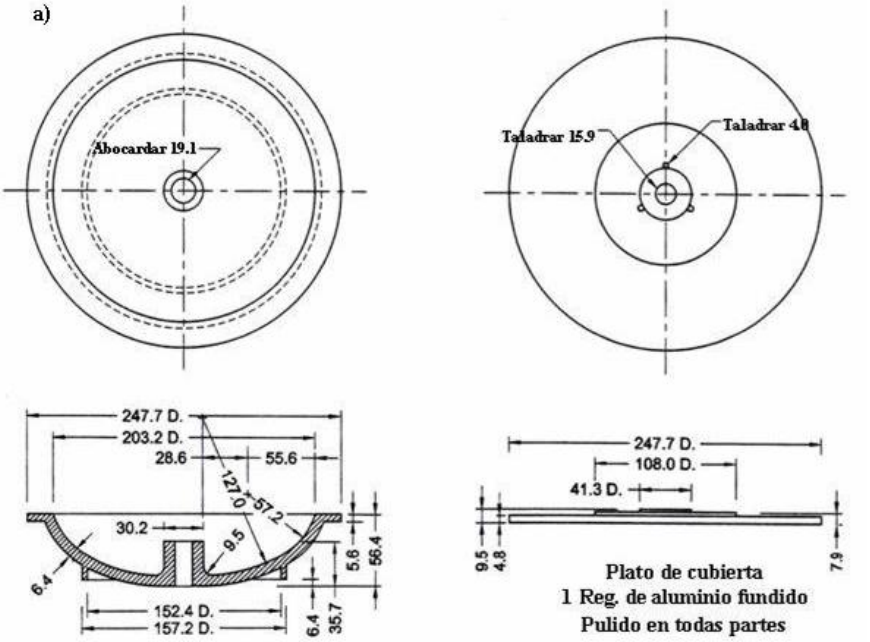
Fotografía E 25.6.

a) Tazón con el filtro y su tapadera, b) Tazón siendo colocado en el aparato de extracción, c) Aparato de extracción con recipiente a su derecha para recoger el asfalto extraído y d) Cloruro de metileno que se añade al aparato para continuar la extracción de asfalto.

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

NOTA 11— Puesto que el agregado seco absorbe humedad cuando es expuesto al aire húmedo, determinar la masa del agregado extraído inmediatamente después de enfriar a una temperatura adecuada.

a)



Tazon
1 Reg. de aluminio fundido
Pulido en todas partes

Plato de cubierta
1 Reg. de aluminio fundido
Pulido en todas partes

Nota: Todas las dimensiones se muestran en milímetros a menos que se diga lo contrario.

b) Equivalentes Dimensionales

mm	in.	mm	in.	mm	in.
0.8	1/32	42.9	1 11/16	155.6	6 1/8
1.6	1/16	44.5	1 3/4	157.2	6 3/16
2.0	5/64	47.6	1 7/8	158.8	6 1/4
3.2	1/8	50.8	2	163.5	6 7/16
4.0	5/32	55.6	2 3/16	165.1	6 1/2
4.8	3/16	56.4	2 7/32	187.3	7 3/8
5.6	7/32	57.2	2 1/4	203.2	8
6.4	1/4	58.7	2 5/16	247.7	9 3/4
7.9	5/16	63.5	2 1/2	254.0	10
9.5	3/8	66.7	2 5/8	257.2	10 1/8
12.7	1/2	71.4	2 13/16	260.4	10 1/4
15.9	5/8	76.2	3	279.4	11
19.1	3/4	88.9	3 1/2	304.8	12
25.4	1	95.3	3 3/4	320.7	12 5/8
28.6	1 1/8	101.6	4	330.2	13
30.2	1 3/16	108.0	4 1/4	342.9	13 1/2
35.7	1 13/32	127.0	5	355.6	14
38.1	1 1/2	138.1	5 7/16	368.3	14 1/2
40.5	1 19/32	149.2	5 7/8	384.2	15 1/8
41.3	1 5/8	152.4	6	393.7	15 1/2
47.6	1 7/8	154.8	6 3/32	406.4	16
0.9 mm	20 medidas	3.2 mm	#8 B&S	26 qt	24.6 L
1.2mm	18 medidas	4.75 mm	Malla No. 4		

Figura E 25.1.

a) Tazón de unidad de extracción (Método A)
b) Equivalentes Dimensionales.

12.6. Determine la cantidad de materia mineral en el extracto por cualquiera de los métodos de ensayo siguientes:

Fotografía E 25.7. **a) Agregado y filtro siendo depositados en el recipiente para el secado, b) Agregado y filtro secos.**

Equipo de Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa

12.6.1 *Método de incineración:*

12.6.1.1 Determinar ya sea el volumen o la masa del extracto total. Colocar el plato de ignición en un horno, enfriar en un desecador, y determinar la masa del plato de ignición con una precisión de 0.001g. Agitar el extracto completamente e inmediatamente medir 100 ml o 100 g en el plato de ignición. Evaporar hasta secar en un baño de vapor o un plato caliente. Incinerar el residuo a un calor rojo opaco (500-600 °C) (932 – 1112 ºF) y suave. Determinar la masa de la ceniza y añadir 5 ml de solución saturada de carbonato de amonio por gramo de ceniza. Mantenerla a la temperatura del ambiente por una hora. Secar en un horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante, enfriar en un secador, y determinar la masa con una precisión de 0.001g.

12.6.1.2 Calcular la masa de la materia mineral en el volumen total de extracto (W_4) como sigue:

$$W_4 = G[W_1/(W_1 - W_2)] \quad (1)$$

Donde:

$\boldsymbol{G}$ =ceniza en parte alícuota, g (con aproximación de 0.001g);

$\boldsymbol{W_1}$= volumen total, ml (o masa total, g); y

$\boldsymbol{W_2}$ = volumen de parte alícuota, ml (o masa de la parte alícuota, g).

12.6.2. *Método de la centrifugadora:*

12.6.2.1. Para este método usar cualquier centrifugadora de alta velocidad adecuada (3000 r/min o mayor) del tipo de flujo continuo.

12.6.2.2. Determinar la masa de una taza (o tazón) de la centrifugadora vacía y limpia con una precisión de 0.01 g y colocarla en la centrifugadora. Colocar un recipiente en la canaleta apropiada para atrapar el efluente de la centrifugación. Transferir todo el extracto (de método A, B, D o E según sea el caso) a un recipiente apropiado equipado adecuadamente con un control de alimentación (válvula o abrazadera, etc.). Para asegurar la transferencia cuantitativa del extracto al contenedor de alimentación, el receptáculo conteniendo el extracto deberá ser lavado varias veces con pequeñas cantidades de solvente limpio y lo lavado se agregará al contenedor de alimentación. Encender la centrifugadora y permitir que alcance una velocidad operacional constante (por ejemplo 9000 r/min para el tipo SMM y 20000 + r/min para los tipo Sharples). Abrir la línea de alimentación y colocar el extracto en la centrifugadora a una razón de 100 a 150 ml/min. Después que todo el extracto ha pasado a través de la centrifugadora, lavar el mecanismo de alimentación (con la centrifugadora aún funcionando) con varios incrementos de solvente limpio, permitiendo que cada incremento atraviese la centrifugadora hasta que el efluente quede esencialmente sin color.

12.6.2.3. Permitir que la centrifugadora se detenga y remover la taza (o el tazón). Limpiar el exterior con solvente fresco. Dejar que el solvente residual se evapore en un embudo o en la cubierta de vapor y entonces secar el contenedor en un horno a 110 ± 5°C (230 ± 9°F). Enfriar el contenedor y redeterminar la masa inmediatamente. El incremento en masa es la masa de materia mineral W_4, (Sección 13.1) en el extracto.

12.6.3. *Método volumétrico:*

12.6.3.1. Colocar el extracto en un frasco previamente destarado y calibrado. Colocar el frasco en un baño a temperatura constante controlada a ± 0.1 °C (± 0.2 °F), y permitir que alcance la temperatura a la cual el frasco fue calibrado. Cuando la temperatura deseada haya sido alcanzada, llenar el frasco con solvente que se conservó con la misma temperatura. Llevar el nivel del líquido en el frasco hasta el cuello, ponerle el tapón, asegurándose que el líquido desborde el tubo capilar, y removerlo del baño. Seque con un paño el frasco, determinar la masa con aproximación de 0.1 g, y registrar esta masa como la masa del frasco más el extracto.

NOTA 12 —En lugar de usar un baño a temperatura controlada, la temperatura del extracto puede ser medida y pueden hacerse las correcciones necesarias para el volumen del frasco y la densidad del asfalto y el solvente.

12.6.3.2. Calcular el volumen de asfalto y finos en el extracto como sigue:

$$V_1 = V_2 - \frac{(M_1 - M_2)}{G_1} \qquad (2)$$

Donde:

V_1 = volumen de asfalto y finos en el extracto,

V_2 = volumen del frasco,

M_1 = masa del contenido del frasco,

M_2 = masa del asfalto y finos en el extracto (o masa del total de muestras menos la masa del agregado extraído), y

G_1 = gravedad específica del solvente determinado con una precisión de 0.001 de acuerdo con ASTM D 2111.

12.6.3.3. Calcular la masa de finos en el extracto como sigue:

$$M_3 = K(M_2 - G_3 V_1) \qquad (3)$$

Donde:

M_3= masa de finos en el extracto,

G_2= gravedad específica de finos como se ha determinado según AASHTO T 84,

G_3= gravedad específica de asfaltos como se ha determinado según con T 228,

$$K = \frac{G_2}{G_2 - G_3}$$

V_1= como fue dado en la sección 12.6.3.2., y

M_2= como fue dado en la sección 12.6.3.2.

13. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFALTICO

$$\text{Contenido de Ligante Asfaltico}, \% = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{W_1 - W_2} \times 100 \qquad (4)$$

Donde:

W_1= masa de la porción de ensayo,

W_2= masa de agua en la porción de ensayo,

W_3= masa del agregado mineral extraído, y

W_4= masa de materia mineral en el extracto.

NOTA 13—Cuando filtros de anillo de ceniza pobre no sean usados, agregar el incremento en masa del anillo de fieltro a W_4.

NOTA 14—cuando es deseado expresar el contenido de ligante asfáltico como un porcentaje del agregado libre de humedad, sustituir la masa $W_3 + W_4$ por la masa $W_1 - W_2$ en el divisor de la ecuación en la sección 13.1.

14. PRECISIÓN Y ERROR

14.1. La desviación típica de un solo laboratorio ha sido encontrada de 0.18 por ciento. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos hechos correctamente por el mismo operador en la misma bachada no deberían diferir por más de 0.52 por ciento. Estos valores se convierten en 0.21 y 0.58, respectivamente, cuando es utilizado extracto conteniendo 85 por ciento de terpeno. (**NOTAS 15 Y 16**).

14.2. Se ha encontrado que la desviación típica multilaboratorio es de 0.29 por ciento. Por consiguiente, el resultado de dos ensayos hechos correctamente por dos laboratorios diferentes, con muestras de la misma bachada no deberían diferir por más de 0.81 por ciento. Estos valores se convierten en 0.29 y 0.83, respectivamente, cuando es utilizado

extracto conteniendo 85 por ciento de terpeno. (**NOTAS 15 Y 16**).

NOTA 15— Estos números representan, respectivamente, los límites (1S) y (D2S) como son descritos y recomendados en la práctica ASTM C 670.

NOTA 16—Estos informes de precisión son basadas en un par de muestras de referencia con 59 laboratorios participando y tres resultados de laboratorio suprimidos como observaciones desviadas. Las muestras de referencia contenían agregado con 98 por ciento que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulg). Todos los métodos de ensayo fueron usados en el programa de ensayos interlaboratorio.

15. EJEMPLO DE CALCULO DE EXTRACCIÓN DE ASFALTOS

Para granulometría FP tipo "D" con porcentajes de: 1/2"-1/4"= 40%, 1/4"- 0"= 32%, arena= 28%.

Para un contenido de asfalto de 5.5 %:

W_1= Peso de la porción de ensayo = 1700.0 g

W_3 = Peso del agregado extraído = 1607.2 g

Peso inicial de filtro = 19.8 g

Peso de filtro después de extracción = 22.0 g

Calculando el peso del agregado retenido

$W_4 = 22 - 19.8 = 2.2$ g

$$\text{Contenido de ligante asfaltico} = \frac{1700 - (1607.2 + 2.2)}{1700} = 5.3\%$$

Los resultados de los demás cálculos se muestran en las tablas siguientes para la mezcla con asfalto que tenía granulometría FP tipo "D". A continuación en la siguiente tabla se muestran los valores para una mezcla asfáltica con granulometría FP tipo "E" con porcentajes de: **1/2"-1/4"= 40%, 1/4"- 0"= 43%, arena= 17 %.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO PARA LA EXTRACCION DE LIGANTE ASFALTICO
EN MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE (MAC)
(AASHTO T 164-05), ASTM D 2172-01)

Solicitante: Universidad de El Salvador

Proyecto: Trabajo de Graduación

Procedencia: Planta Multipav,

Ubicación: Guazapa

Material: Mezcla Asfáltica con granulometría FP tipo "D"

Laboratorista:

Fecha de ensayo:

DESCRIPCION	VALORES				
Porcentaje de asfalto añadido	**5.5**	**6.0**	**6.5**	**7.0**	
Peso antes de la extracción (W_1)	1700.0	1700.0	1700.0	1700.0	
Peso de agua en la muestra (W_2)	–	–	–	–	
Peso de materia mineral en el extracto (W_3)	–	–	–	–	
Peso de agregado después de la extracción (W_4)	1607.2	1598.0	1588.0	1581.4	
Peso inicial del filtro	19.8	19.8	19.9	19.9	
Peso del filtro después de la extracción	22.0	22.0	22.0	21.3	
Peso del agregado retenido en filtro (W_4)	2.2	2.2	2.1	1.4	
Peso total de los agregados extraídos	1609.4	1600.2	1590.1	1582.8	
Porcentaje de asfalto extraído	5.3	5.9	6.5	6.9	

Observaciones:

Ensayo No. 26.

ANALISIS MECÁNICO DE AGREGADO EXTRAIDO

Basado en norma AASHTO: T 30-93 (2003)

1. OBJETIVOS

Al finalizar este ensayo el lector será capaz de:

- Realizar el ensayo de análisis por tamices al agregado extraído de una muestra de mezcla asfáltica en caliente.
- Conocer el equipo necesario para este ensayo.
- Entender la metodología de este método de ensayo.

2. ALCANCES

2.1 Este método cubre un procedimiento para la determinación de la distribución del tamaño de las partículas de agregados fino y grueso extraídos de mezclas asfálticas, usando tamices con aberturas cuadradas.

2.2. Los valores indicados en unidades SI son considerados como los estándar.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1. Normas AASHTO:

M 92, Tamices de Malla Metálica para Propósitos de Ensayo

M 231, Dispositivos Usados para Pesar Materiales en los Ensayos

T 164, Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico en Mezclas Asfálticas en Caliente

3.2. Normas ASTM:

C 670, Práctica para la Preparación de Informes de Precisión y Error para Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1. Este método es usado para determinar la graduación de agregados extraídos de mezclas asfálticas. Los resultados son utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con requerimientos de especificaciones aplicables y proveer datos necesarios para el control de la producción de varios agregados para ser usados en mezclas asfálticas.

5. EQUIPO

5.1. El equipo consistirá en lo siguiente:

5.1.1. Las balanzas tendrán suficiente capacidad, serán legibles a 0.1 por ciento de la masa de la muestra o mejor, y conforme a AASHTO M 231.

5.1.2. *Tamices.*— Los tamices con aberturas cuadradas serán montados en marcos construidos de tal manera que prevengan la pérdida de material durante el tamizado. Los tamaños de tamices disponibles serán seleccionados para proveer la información requerida por las especificaciones que cubren el material ensayado. El tejido de los tamices de malla metálica estará de acuerdo con la especificación AASHTO M 92.

6. MUESTRA

6.1. La muestra consistirá de todo el agregado o de una muestra del agregado obtenido de acuerdo a AASHTO T 164 de la cual el material asfáltico ha sido extraído.

7. PROCEDIMIENTO

7.1. La muestra será secada a 110 ± 5ºC (230 ± 9ºF) hasta que la precisión de la masa pesada no se altere en 0.1 por ciento. La masa total de agregado en la mezcla asfáltica que está siendo ensayada es la suma de la masa de los agregados secados y el material mineral contenido en el asfalto extraído. Lo último es tomado como la suma de la masa de ceniza en el extracto y el incremento en masa del material del filtro como se ha determinado en AASHTO T 164 (ver **Fotografia E 26.1.**).

Fotografía E 26.1.

Determinación de finos adheridos al filtro:
a) Filtro antes de ensayo el cual tiene registrado un peso de 19.9 gramos.
b) Registro de peso de un filtro después de ensayo.

Fotografía tomada en Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa.

7.2. La muestra de ensayo, después de ser secada y pesada, será colocada en un contenedor y cubierta con agua (**Fotografía E 26.2.**). Agregar una cantidad suficiente de agente humectante para asegurar una suficiente separación del material más fino que el tamiz de 75µm(No. 200) de las partículas más gruesas. El contenido del recipiente será agitado vigorosamente y el agua de lavado inmediatamente vertida sobre un arreglo de dos tamices consistentes de un tamiz de 2.00- o uno de 1.18-mm(No. 10 o No.16) colocado sobre un tamiz de 75µm(No. 200). El uso de una cuchara larga para revolver o agitar el agregado en el agua de lavado ha sido encontrado satisfactorio.

NOTA 1— Los agentes humectantes pueden incluir cualquier agente dispersante tales como Calgon (hexametafosfato de sodio), Joy, u otro detergente, o un jabón, que promueva la separación de material fino.

7.3. La agitación será suficientemente vigorosa para lograr la completa separación de todas las partículas más finas que el tamiz de 75µm(No. 200) de las partículas gruesas y que estas sean puestas en suspensión, para que puedan ser removidas por decantación del agua de lavado (ver **Fotografía E 26.3.**). Se debe tener cuidado para evitar, tanto como

sea posible, la decantación de las partículas gruesas de la muestra. La operación será repetida hasta que el agua de lavado salga clara.

Fotografía E 26.2. **Muestra de agregado cubierta con agua para el lavado de finos.**

Fotografía tomada en Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa.

7.4. Todo el material retenido sobre el arreglo de tamices será regresado al recipiente. El agregado lavado en el recipiente será secado a masa constante como se definió en la sección 7.1 a una temperatura de 110 ± 5ºC (230 ± 9ºF). y pesada con aproximación de 0.1 por ciento.

7.5. El agregado será tamizado sobre tamices de varios tamaños según lo requiera la especificación que cubre la mezcla, incluyendo el tamiz de 75µm(No. 200). Arreglar los tamices en orden decreciente de tamaño de abertura desde arriba hacia abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manual o mecánicamente por un periodo suficiente, establecido por tanteo o chequeado por mediciones en la muestra de ensayo actual, para conocer el criterio para un tamizado suficiente descrito en la sección 7.7.

Fotografía E 26.3. **Decantación del agua de lavado hasta que sale limpia.**

Fotografía tomada en Laboratorio de Control de Calidad, **Multipav**, Planta Guazapa.

7.6. Limitar la cantidad de material en un tamiz dado tal que todas las partículas tengan oportunidad de alcanzar las aberturas de los tamices una cantidad de veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que el tamiz de 4.75-mm(No. 4), la masa retenida en cualquier tamiz al completarse la operación de tamizado no excederá 6 kg/m^2 (4 g/$pulg^2$) de superficie de tamizado. Para tamices con aberturas de 4.75-mm(No. 4) y mayores. La masa en kg no excederá el producto de 2.5 x (abertura de tamiz en mm) x (área de superficie tamizada en m^2). En ningún caso la masa será tan grande para causar deformación permanente de la malla del tamiz.

NOTA 2— Los 6 kg/m^2 (4g/$pulg^2$) serán una cantidad de 194 g para el tamiz de diámetro usual de 203-mm (8-pulg). La cantidad de material retenido en un tamiz puede ser regulada por (1) la introducción de un tamiz con aberturas mayores inmediatamente arriba del tamiz dado o (2) ensayando la muestra por partes separadamente.

7.7. Continuar tamizando por un periodo suficiente y de tal manera que, después de completarse, no más del 0.5 por ciento por masa del total de la muestra pase cualquier tamiz durante 60 segundos de tamizado manual continuo realizado como sigue: Mantener el tamiz individual, provisto con un fondo y una tapa, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear el lado del tamiz bruscamente y con un movimiento hacia arriba contra la otra mano a una tasa de 150 veces por minuto, girando el tamiz casi

un sexto de una revolución a intervalos de casi 25 golpes. Para determinar el suficiente tamizado para tamaños más grandes que el tamiz de 4.75-mm (No. 4), limitar el material en el tamiz a una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices arreglados hace el movimiento de tamizado descrito impractico, usar tamices de 203-mm (8 pulg) de diámetro para verificar un tamizado adecuado.

7.8. La masa de material que pasa cada tamiz y se retiene en el siguiente y la cantidad que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) serán registrados. La suma de todas estas masas se utilizan para comprobar la masa seca después de lavado dentro del 0.2 por ciento de la masa total. La masa de material seco que para el tamiz de 75µm (No. 200) por tamizado en seco será agregada a la masa de materia mineral en el asfalto y la masa removida por lavado para obtener el total que pasa el tamiz de 75µm (No. 200). Si es deseado comprobar la masa de material lavado a través de el tamiz de 75µm (No. 200), el agua de lavado será evaporada para secar o filtrar a través del papel de filtro tarado (antes pesado) que es subsecuentemente secado y pesado. La masa de fracciones retenidas en los distintos tamices y el total que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) será convertido a porcentajes dividiendo cada uno por la masa total de agregado en la mezcla asfáltica de la Sección 7.1.

8. REPORTE

8.1. Los resultados del análisis por tamices serán reportados como siguen:

(a) porcentaje total que pasa cada tamiz, o (b) porcentaje total retenido en cada tamiz, o (c) porcentaje retenido entre tamices consecutivos, dependiendo del formato en que los soliciten las especificaciones para el uso del material que está siendo ensayado. Los porcentajes serán reportados al número entero más cercano excepto por el porcentaje que pasa el tamiz de 75µm (No. 200) que será reportado con una aproximación de 0.1 por ciento.

9. PRECISION Y ERROR

9.1 *Precisión.*— Los estimados de precisión para este método de ensayo son listados en la Tabla E 26.1. Los estimados están basados en los resultados del Programa de Muestreo, Técnicas de Laboratorio y Materiales de Referencia AASHTO, con ensayos conducidos por T 30. Los datos están basados en el análisis de los resultados de ensayo de 47 a 190 laboratorios que han ensayado 17 pares de técnicas de ensayos de muestras (Muestras No. 1 hasta la 34). Los valores en la tabla son dados para diferentes rangos del porcentaje total de agregado que pasa el tamiz.

Tabla E 26.1. **Precisión**

	Porcentaje total de material que pasa un tamiz		Desviación estándar (1S) Porcentaje [a]	Rango aceptable de dos resultados(D2S)[a] Porcentaje
Agregado extraído:[b]				
Precisión un solo operador	<100	≥95	0.49	1.4
	<95	≥40	1.06	3.0
	<40	≥25	0.65	1.8
	<25	≥10	0.46	1.3
	<10	≥5	0.29	0.8
	<5	≥2	0.21	0.6
	<2	≥0	0.17	0.5
Precisión multilaboratorio	<100	≥95	0.57	1.6
	<95	≥40	1.24	3.5
	<40	≥25	0.84	2.4
	<25	≥10	0.81	2.3
	<10	≥5	0.56	1.6
	<5	≥2	0.43	1.2
	<2	≥0	0.32	0.9

[a] Estos números representan, respectivamente, los limites (1S) y (D2S) descritos en ASTM C 670.

[b] Los estimados de precisión son basados en agregados con tamaño máximo nominal de 19.0 mm (3/4 in) a 9.5 mm (3/8 in).

9.2. *Error.*—Este método de ensayo no tiene error puesto que los valores determinados pueden sólo ser definidos en términos de este método de ensayo.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"

ENSAYO PARA EL ANALISIS MECANICO DE AGREGADO EXTRAIDO (AASHTO T 30-93(2003)

Solicitante: Universidad de El Salvador

Proyecto: Trabajo de Graduación

Procedencia: Planta Multipav,

Ubicación: Guazapa

Material: Mezcla Asfáltica con 5.5% CA y granulometría FP tipo "D"

Laboratorista:

Fecha de ensayo:

Peso de muestra =	1609.4 g	Peso después de lavado	1505.9 g	Perdida por lavado	103.5 g

Aberturas de Tamiz (mm)	Tamiz	Peso retenido parcial	Peso retenido parcial corregido	Peso retenido parcial total	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa el tamiz	Banda de control
19.00	3/4	0	0	0	0.0	0.0	100	100
12.50	1/2	0	0	0	0.0	0.0	100	97-100
9.50	3/8	152.4	152.4	152.4	9.5	9.5	91	-
4.75	No. 4	527.7	527.6	527.6	32.8	42.3	58	57-69
2.36	No. 8	215.7	215.7	215.7	13.4	55.7	44	41-49
0.60	No. 30	122.5	122.5	122.5	7.6	72.6	27	22-30
0.30	No. 50	150.7	150.7	150.7	9.4	82.0	18	13-21
0.075	No. 200	61.0	61.0	61.0	3.8	92.7	7.3	3-8
	Pasa No. 200	13.2	13.2	116.7	7.3	100.0		
	Total	1506.0						

Observaciones:

CAPITULO V: CONTROL DE LA MEZCLA EN PLANTA

5.1 GENERALIDADES

El propósito de una planta de mezclas asfálticas en caliente (MAC) es combinar, secar y calentar el agregado para mezclarlo con el cemento asfáltico en caliente, produciendo por medio de dicho proceso una mezcla asfáltica homogénea para pavimentación. El agregado utilizado puede ser un solo material, tal como agregado triturado o de banco, o también una combinación de agregados gruesos y finos, sin o con filler mineral. El material ligante usado es normalmente cemento asfáltico en caliente. Muchos aditivos, incluyendo materiales líquidos o en polvo, pueden ser incorporados también en la mezcla.

5.2 PLANTAS ASFALTICAS

Las plantas de mezcla asfáltica existen en diferente capacidad, y pueden ser fijas (situada en un lugar permanentemente) o portátiles (transportada de una obra a otra). Por la forma en que se realiza la producción, tenemos las plantas de dosificación (tipo batch) y las continuas, las que se definen según la norma AASHTO M 156 "Requerimientos para Plantas de Mezclado para Mezclas en Caliente y Mezclas de Pavimentos Bituminosos Colocados en Caliente":

Planta de dosificación: Es una instalación en la que se producen mezclas bituminosas para pavimentación la cual proporciona el agregado y los constituyentes asfálticos en la mezcla por cargas previamente pesadas, añade el material bituminoso por peso o volumen, y mezcla dicha combinación (ver **Figura 5.1**).

Planta de mezcla continua: Es una instalación en la que se producen mezclas bituminosas para pavimentación en la cual se proporciona continuamente el agregado y

los constituyentes bituminosos en la mezcla, por un sistema de proporcionamiento continuo sin definir intervalos de carga.

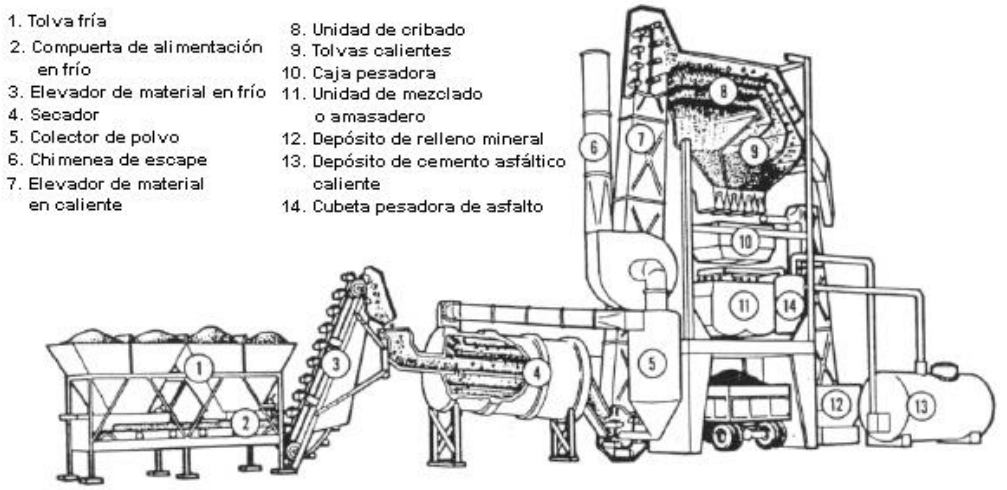


Figura 5.1 **Partes componentes de una planta de dosificación**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS 22, Asphalt Institute

Existen plantas que pueden realizar el proceso de secar y calentar el agregado, así como el de mezclarlo con el asfalto en un solo compartimiento, estas plantas se conocen como **plantas mezcladoras de tambor**, las cuales son instalaciones que producen mezclas bituminosas de pavimentación en la que continuamente se proporciona, seca y calienta el agregado en un tambor rotatorio, mezclándolo simultáneamente con una cantidad controlada de material bituminoso. La misma planta puede producir mezclas bituminosas de pavimentación en frío sin secar ni calentar el agregado. Estas plantas pueden ser de flujo paralelo (ver **Figura 5.2**) o contraflujo (ver **Figura 5.3**), en las cuales la única diferencia es que en las plantas mezcladoras de tambor de flujo paralelo el agregado se mueve en la misma dirección que los gases y en las plantas de contra flujo el agregado se mueve en dirección contraria a los gases.

Según un inventario del ministerio de obras públicas los tipos de plantas que se utilizan en nuestro país son las plantas de dosificación con producción por bachadas, plantas de producción continúas de flujo paralelo y plantas de producción continuas de contra flujo, dichas plantas se mencionan a continuación en la **Tabla 5.1**:

Tabla 5.1 **Lista del tipo de planta que tiene cada empresa en El Salvador (2005)**

Fuente: Ministerio de Obras Publicas de El Salvador

Nombre de planta asfáltica	Tipo de planta
ASTALDI S.p.A. S.A. de C.V.	Producción continua Flujo Paralelo
TERRATRACTO S.A. de C.V.	Producción por Dosificación
PROPAV S.A. de C.V.	Producción continua Contra Flujo
MULTIPAV S.A. de C.V.	Producción continua Contra Flujo
LINARES S.A. de C.V.	Producción continua Flujo Paralelo
ARCO INGENIEROS S.A. de C.V.	Producción continua Flujo Paralelo
PAVTECH S.A. de C.V.	Producción continua Contra Flujo
SERDI S.A. de C.V.	Producción continua Contra Flujo
LOURDES (M.O.P.)	Producción por Dosificación
PAVIMENTO BAJO NORMA (PAV)	Producción continua Flujo Paralelo

Una situación común a todas las plantas es la importancia de la uniformidad y el balance, tanto en los materiales usados como en las operaciones de planta. La uniformidad garantiza que la mezcla en caliente cumpla consistentemente con las especificaciones, e incluye la uniformidad en los materiales, en el proporcionamiento de materiales, y continua en la operación de todos los componentes de la planta. Los cambios en las características o proporciones de materiales, y las interrupciones y arranques intermitentes en las operaciones de la planta, hacen que la producción de una mezcla en caliente, conforme con las especificaciones de la obra, sea una labor extremadamente difícil.

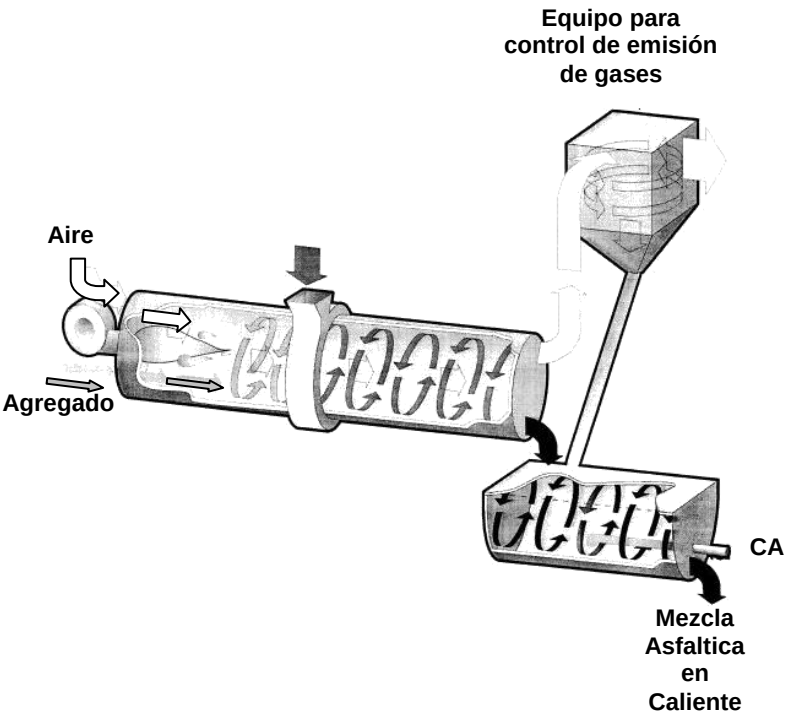


Figura 5.2 **Planta mezcladora de tambor de flujo paralelo**

Tomada de Hot Mix Asphalt Paving del US Army Corps of Engineers

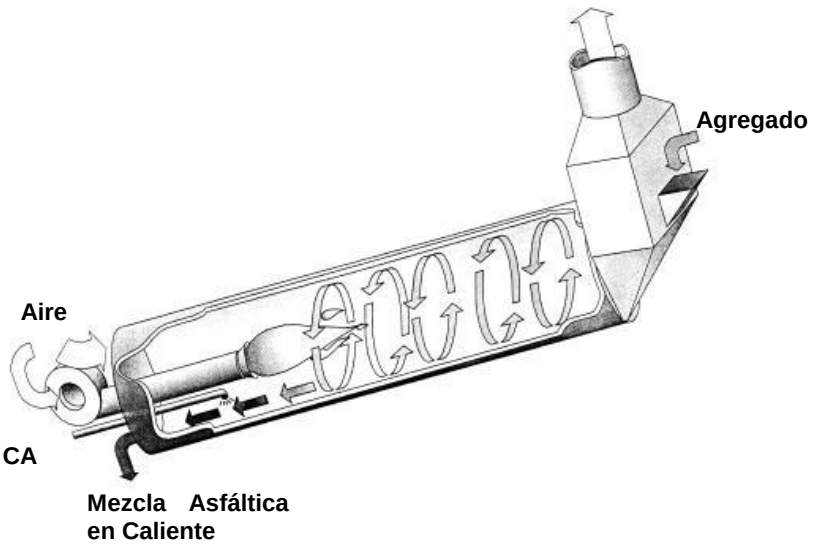


Figura 5.3 **Planta mezcladora de tambor de contraflujo**

Tomada de Hot Mix Asphalt Paving del US Army Corps of Engineers

5.3 OPERACIONES EN PLANTA

Las plantas tienen un cierto número de operaciones que son las básicas y estas dependen del tipo de planta. Las plantas más comunes son las de dosificación y las mezcladoras de tambor, las cuales tienen ciertas diferencias en cuanto a sus operaciones, puesto que una realiza su producción por bachadas previamente pesadas y las mezcladoras de tambor lo hacen continuamente. De estos dos tipos de plantas se abordarán las plantas mezcladoras de tambor porque las plantas de dosificación se han vuelto prácticamente obsoletas.

5.3.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

En una planta que se produce mezcla asfáltica en caliente se deben tomar las medidas apropiadas para el almacenamiento de los materiales, los materiales que se utilizan son: los agregados que debe ser divididos en frío según la sección 5.7, el ligante asfáltico, y también sus aditivos. En este documento por no tratarse las mezclas asfálticas con asfalto modificado no se aborda el almacenamiento de los aditivos.

5.3.1.1 Almacenamiento de agregados

En primer lugar se deben mantener separados los agregados para evitar el entremezclado de estos, esto se puede lograr haciendo apilamientos separados o separándolos con muros de contención los que deberán resistir las cargas laterales para no ceder ante ellas, también deberán tener la altura del acopio. En cuanto a los apilamientos leer las recomendaciones dadas en la sección 2.3.2.1 del Capitulo II.

5.3.1.2 Almacenamiento de filler mineral

El filler mineral, cuando se tiene como tal en una planta, se debe mantener alejado de la humedad para evitar aglutinamiento o endurecimiento para este fin se puede almacenar de la siguiente forma:

- Silos si las operaciones requieren gran cantidad de finos, pudiéndose agregar el filler a través de un sistema mecánico o uno neumático, siendo la diferencia entre los dos

que el neumático adiciona el filler por una corriente de aire tratándose como si fuera un fluido.

- El filler es adicionado a la caja pesadora de agregados o a un sistema de pesaje individual para plantas de dosificación, para plantas mezcladoras de tambor se añade neumáticamente por tubería en el mismo lugar donde es añadido el asfalto.
- De sacos si el volumen de asfalto usado no justifica un silo, este sistema consiste en un elevador hermético al polvo, una tolva, un transportador de tornillo sin fin o un alimentador de paletas, y un conducto de rebose.

En ambos sistemas se pueden utilizar un equipo de alimentación de paletas de velocidad variable, alimentador de tornillo o banda, cuya elección depende del material a ser manejado y de la capacidad que se requiera.

También se incluye un sistema colector de polvo los cuales atrapan el filler que se escapa de la mezcla de agregado y luego lo devuelve para que sea incorporado a la mezcla en caliente.

Como es sabido en una instalación para la producción de mezclas asfálticas se debe llevar un delicado control de la dosificación de los materiales, por lo que se debe tener mucho cuidado en cuanto a la adición de filler mineral, ya que este puede ser un factor determinante en las propiedades de la mezcla producida, siendo que esta lleve menos o más filler. Por lo que se debe revisar con frecuencia la calibración de los mecanismos de alimentación y pesaje. También se puede medir la cantidad utilizada de filler mineral, midiendo la cantidad consumida en la planta durante la producción de una cantidad dada de mezcla en caliente.

5.3.1.3 Almacenamiento de asfalto

El almacenamiento de cemento asfáltico debe realizarse bajo las recomendaciones dadas en la sección 3.6 del capítulo correspondiente a ligantes asfálticos. Además se deben tomar las siguientes consideraciones:

Nunca debe entrar en contacto directo con el tanque una llama, sino que se debe realizar el calentamiento por uno de los métodos mencionados en la sección 3.6.

Todas las líneas, bombas y cubetas pesadoras deben tener calentadores de serpentín o chaquetas para que el asfalto siempre permanezca fluido.

Las líneas de retorno que descargan en el tanque de almacenamiento deberán estar siempre por debajo del nivel de asfalto para prevenir que el asfalto se oxide durante su circulación.

Se puede instalar una válvula o espiga en el sistema de circulación para permitir muestreo de asfalto, tomando las precauciones necesarias, ya que puede salpicar asfalto caliente debido a la presión en la tubería.

5.3.2 COMPONENTES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR

Los componentes principales de una planta mezcladora de tambor son (ver **Figura 5.4 y Figura 5.5**):

- Tolvas de agregado de alimentación en frío
- Sistema de transporte y pesado de agregado
- Mezclador de tambor
- Sistema colector de polvo
- Transportador de mezcla en caliente
- Silo de compensación para mezcla
- Cabina de control
- Tanque de almacenamiento de asfalto

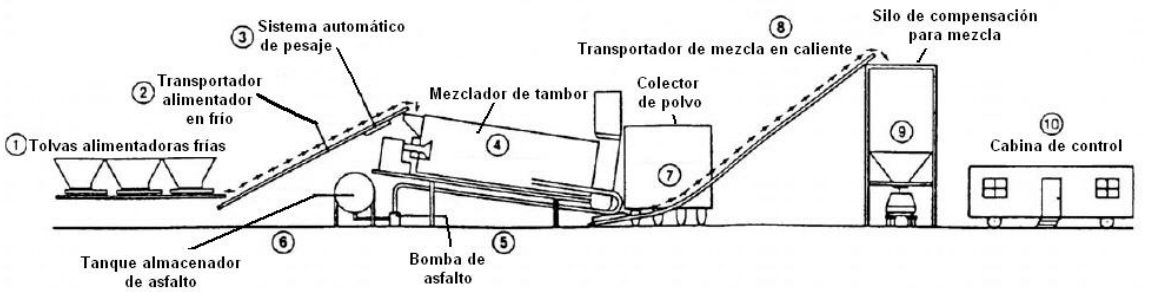


Figura 5.4 **Distintas partes de una planta mezcladora de tambor. Estas partes son las que generalmente deberán tener las plantas mezcladoras.**

Tomado del boletín técnico T 119S, Tambor secador mezclador

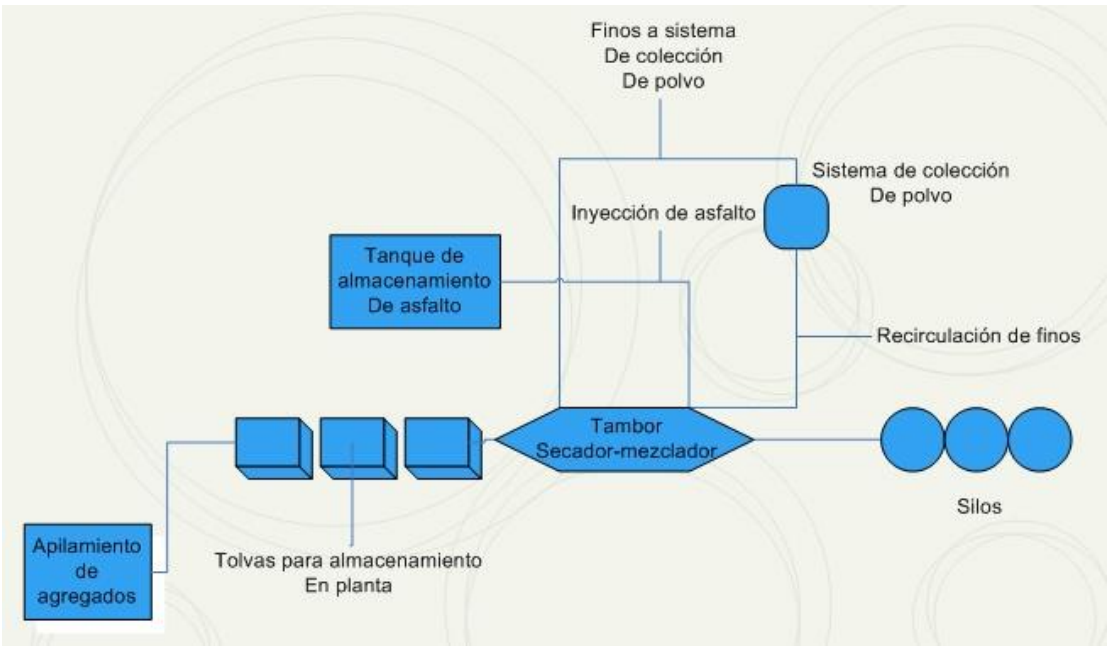


Figura 5.5 **Diagrama de proceso de producción en una planta mezcladora de tambor.**

5.3.3 ALMACENAJE EN TOLVAS Y ALIMENTACIÓN EN FRÍO DE AGREGADO

El sistema de acopio y alimentación en frío de agregado mueve el agregado frío del almacenaje a las tolvas en la planta.

El alimentador en frío es el primer componente principal de la planta de mezclas asfálticas en caliente. El alimentador en frío puede ser cargado usando cualquiera, o una combinación, de tres métodos diferentes:

- Tolvas abiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, usualmente alimentadas por un cucharón de almeja de una grúa o por un cargador de tractor (ver **Fotografía 5.1**).

Fotografía 5.1 **Sistema de tolvas abiertas alimentada por un cargador de tractor.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

- Túnel debajo de apilamientos separados por muros de contención. Los materiales son apilados sobre el túnel mediante banda transportadora, camión, grúa, o cargador de tractor.
- Arcones o tolvas grandes. Estos son usualmente alimentados por camiones, descargadoras de vagón, o vagones de descarga inferior descargando directamente sobre los arcones.

En el sistema de alimentación debe revisarse, para ayudar a garantizar un correcto funcionamiento, los siguientes aspectos:

- Tamaños correctos de los agregados en las pilas y en las tolvas frías.
- Ninguna segregación de agregados.
- Ningún entremezclado de reservas de agregado.
- Compuertas alimentadoras calibradas, aseguradas y ajustadas con exactitud.
- Ninguna obstrucción en las compuertas alimentadoras o en las tolvas frías.
- Ajustes correctos en los controles de velocidad.

En una planta mezcladora de tambor, la graduación y la uniformidad de la mezcla dependen completamente del sistema de alimentación en frío. Se debe tener bastante cuidado en la producción, y en el almacenamiento, del agregado. Esto significa, entre otras cosas, proveer superficies limpias en donde puedan colocarse los materiales.

Puesto que los acopios son bastante importantes se debe mantener separado en los distintos tamaños del agregado para que no haya segregación.

En vista que la alimentación en frío del agregado es una parte fundamental en un mezclador de tambor, la forma más eficiente es utilizando un sistema múltiple de tolvas con bandas alimentadoras de alta precisión.

Se deben tener controles de alta precisión en los sistemas de alimentación para que se den las proporciones exactas en la banda, por lo tanto la planta deberá estar equipada con medios para obtener muestras representativas de agregado de cada alimentador individual, y del alimentador total. Los controles que se deben llevar en la alimentación en frío son los siguientes:

- Análisis granulométrico del agregado de cada tolva.
- Calibración de los alimentadores-abertura de compuerta y velocidad de banda.
- Establecer proporciones de las tolvas.
- Fijar las aberturas de las compuertas y las velocidades de las bandas.

Todos los ajustes a compuertas y las velocidades de las bandas deberán considerarse temporales, ya que el agregado frío puede variar tanto en granulometría como en contenido de humedad requiriéndose ajustes posteriores para mantener un flujo uniforme.

5.3.3.1 Pesado del agregado

Como el agregado en un sistema de tambor es proporcionado y pesado húmedo en la banda antes de ser secado, se debe obtener una medida precisa del contenido de humedad. Se deberá hacer un monitoreo del contenido de humedad antes de comenzar las operaciones del día, y luego, alrededor del mediodía; pero si se sospechan variaciones durante el día deberá ser revisado con más frecuencia.

Las plantas mezcladoras de tambor requieren normalmente de un sistema continuo de pesaje en las bandas transportadoras el cual da el peso en un determinado instante, los dispositivos de pesaje utilizados en este sistema son conocidos como puentes-báscula, este sistema registra el peso en toneladas por hora, por medio de un portador pivotado de báscula y un sensor de velocidad de banda que mandan sus lecturas a un "totalizador" o "integrador" (ver **Figura 5.6**). Este sistema se encuentra localizado normalmente a mitad de camino, entre la cabeza y el cabo de la polea de la banda transportadora, esta ubicación tiende a disminuir las variaciones en la lectura que pueden ser ocasionadas por impactos en la distribución de cargas, por retroceso del agregado, o por cambios en la tensión de la banda. El sistema deberá tener una precisión de ± 0.5 por ciento.

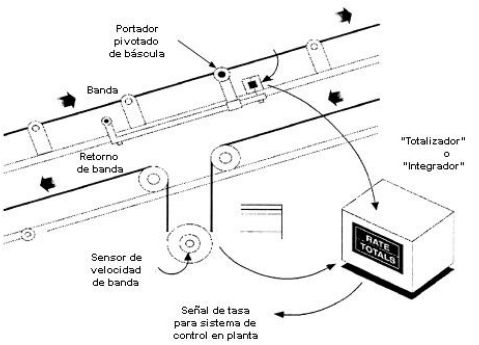


Figura 5.6 **Sistema de pesaje continuo en una planta mezcladora de tambor.**

5.3.3.2 Calibración y ajuste de los alimentadores

Las compuertas alimentadoras de agregado frío deben ser calibradas, ajustadas y aseguradas para garantizar un flujo uniforme de agregado.

Las compuertas deberán estar calibradas para cada tipo y tamaño de agregado usado en la planta. Los fabricantes generalmente suministran calibraciones aproximadas para las aberturas de compuerta de sus equipos, pero la única manera para fijar las compuertas es la de preparar gráficos de calibración basados en los agregados que van a ser usados en la mezcla.

Existen dos métodos para calibrar los alimentadores en frío de agregado:

a) Aberturas ajustables de compuerta con alimentadores de banda de velocidad fija

La calibración en este método comienza al abrir un 25 por ciento, o menos, de su capacidad máxima la primera de las compuertas a ser calibradas, poniéndose luego en marcha el alimentador. Cuando el alimentador este funcionando aproximadamente a la misma velocidad de operación que tendrá durante la producción real, se procede a recoger el agregado que sale por la compuerta, en un recipiente después de un determinado intervalo de tiempo y luego se pesa. Esta misma operación se repite para tres o más aberturas diferentes en cada compuerta.

Si la compuerta que esta siendo calibrada es del tipo que descarga directamente sobre el sistema alimentador principal de banda transportadora, entonces deberá determinarse el flujo por minuto de material, para la abertura de compuertas, usando la siguiente ecuación:

$$q = \frac{WR}{r(1+m)} \qquad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

q = tasa de flujo del agregado seco (kg por minuto)

W = peso del agregado medido (kg)

r = longitud de la sección de banda de donde el material fue removido (en metros)

R = velocidad de banda (metros por minuto)

m = contenido de humedad del agregado

En sistemas como los de flujo continuo de banda y flujo de aspas en donde la compuerta descarga el material sobre un transportador pequeño en vez de un transportador grande principal, el flujo de material puede ser calculado usando el número de revoluciones de la banda pequeña. Así que nada más deben cambiarse en la ecuación 5.1:

r = el número de revoluciones de la banda pequeña durante la recolección de agregado (en revoluciones), y

R = revoluciones de la banda por minuto (revoluciones por minuto)

Luego se grafican los datos calculados de las aberturas de compuerta (en centímetros) en el eje horizontal, y la tasa de flujo (q, en kilogramos por minuto) en el eje vertical.
Una vez construido el gráfico de calibración, se procede a determinar las aberturas exactas de compuerta necesarias para la producción, usando la tasa requerida de flujo de agregado, usando la siguiente formula:

$$Q = \frac{TP}{6} \qquad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:
Q = tasa de flujo requerida (kg por minuto).
T = producción de la planta (toneladas por hora).
P = porcentaje en peso total de mezcla.

b) Aberturas semifijas de compuerta con alimentadores de banda de velocidad variable.
En muchas plantas modernas, las compuertas de alimentación en frío no son ajustadas para cada rango, sino que el proceso es controlado por alimentadores de banda y alimentadores vibratorios de velocidad variable (medida en revoluciones por minuto-RPM).
La velocidad de la banda es ajustada de acuerdo a la tasa de producción deseada.

Para efectuar esta calibración todas las tolvas son llenadas con sus respectivos tamaños de agregados. Luego la planta es puesta en marcha y el primer alimentador se ajusta para que funcione a una determinada velocidad. Una vez la planta esta operando uniformemente, se procede a recoger y pesar la cantidad de material descargado durante un período determinado de tiempo, por ejemplo 30 minutos. Este procedimiento se repite por lo menos para tres calibraciones (20, 50 y 70 RPM, por ejemplo) en la misma tolva o alimentador. La tasa de producción para el primer alimentador, para cada velocidad, es calculada para trazar sobre una gráfica en la que se pondrá en el eje vertical una escala con las de material por hora y en el eje horizontal el porcentaje de velocidad de la banda alimentadora. Repitiendo todo el procedimiento para todas las tolvas en el sistema de alimentación en frío.

5.3.4 SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO

Después de salir de las tolvas frías, los agregados son descargados en el secador. El secador realiza dos funciones:

a) Remueve la humedad de los agregados.
b) Eleva la temperatura del agregado al nivel deseado.

La forma en que funciona el secador depende de que tipo de planta se este utilizando, ya que como se menciono en la sección 5.2 las plantas mezcladoras de tambor, que son las que nos conciernen, pueden ser de contraflujo o flujo paralelo.

El secador de una planta mezcladora de tambor funciona en forma similar a un secador convencional de una planta de dosificación, el cual es un cilindro rotatorio que tiene un diámetro entre 1.5 y 3 metros (5 a 10 pies), y una longitud entre 6 y 12 metros (20 a 40 pies), la proporción de la longitud al diámetro es normalmente de 4:1. El secador incluye un quemador de aceite o gas con un ventilador que proporciona el aire principal de combustión, y un ventilador eductor el cual crea un tiraje y transporta el calor a través del secador y remueve la humedad. El tambor también esta equipado con canales longitudinales, llamados aspas (ver **Figura 5.7 y 5.8**), que levantan el agregado y lo dejan caer a través de la llama del quemador (ver **Figura 5.9**) y los gases calientes.

En cuanto a las aspas mostradas en la **Figura 5.7** se pueden notar 3 tipos de paletas con los cuales está provisto este tipo de secador, las cuales realizan distintos tipos de funciones, por ejemplo las paletas acondicionadoras sirven para deshacer las pelotas de finos, mientras que las cobertoras permiten que el agregado pase uniformemente a través de la corriente de gas y las de la zona de combustión impiden que el agregado sea tocado por la llama y los esparcen para que el calor sea elevado a un máximo. Es de notar que el diseño y configuración de aspas mencionados anteriormente corresponden a un diseño en particular, por lo que debería haber ciertas diferencias dependiendo del fabricante. La inclinación del secador (típicamente de 2.5 a 6 grados o 26 a 63 mm/m), su velocidad de rotación, diámetro, longitud y la configuración de las aspas; así como su número, determinan el tiempo en que el agregado permanecerá en el secador.

La cantidad de aire debe estar en equilibrio con la cantidad de combustible que es suministrado al quemador, para que este opere eficientemente, por lo tanto una falta de balance entre los elementos que componen el quemador puede causar graves problemas.

Por ejemplo, si hay una carencia de aire o un exceso de flujo de aceite puede resultar en una combustión incompleta, la cual puede afectar a la mezcla final, ya que esto produce un revestimiento del agregado con el aceite de combustión, situación que se puede notar de una forma rápida poniendo un poco de agregado en un balde con agua y si hay aceite subirá a la superficie, es de notar que una película delgada no afectará sustancialmente la mezcla, pero una película muy gruesa sí. También una falta de equilibrio entre el aire de tiraje y el ventilador puede crear una contrapresión en el tambor. Esto crea un "resoplido-reverso" de descarga en el extremo del tambor donde esta el quemador. En este caso se debe reducir la resistencia al aire de tiraje o la presión de aire del ventilador.

Los secadores con quemadores de gas natural o petróleo líquido raramente presentan problemas de combustión. Sin embargo, todavía pueden ocurrir las faltas de equilibrio en la presión de gas, de aire de combustión y de tiraje.

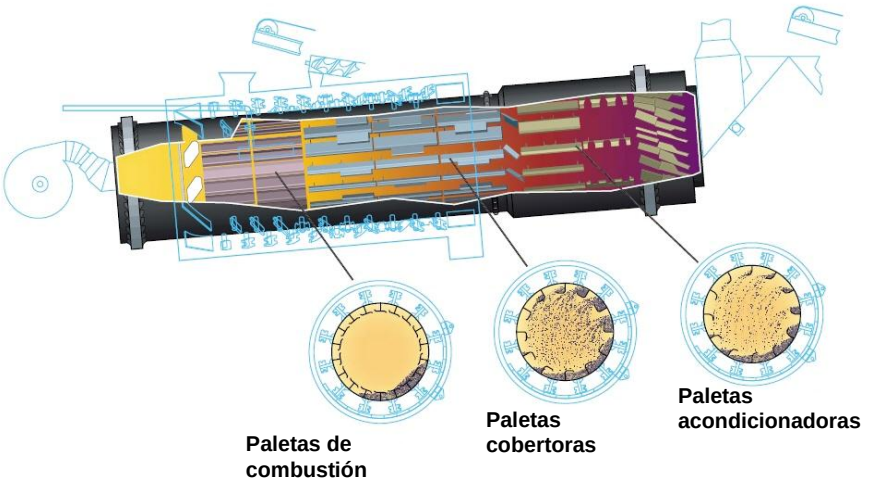


Figura 5.7. **Aspas en un tambor secador –mezclador en el cual se muestran en perfil y en vista frontal los distintos tipos de paletas que utiliza.**

Tomada del catalogo para mezclador de tambor turbo double barrel de ASTEC.

La diferencia para una planta de flujo paralelo y contraflujo estriba en la dirección que lleva el agregado con respecto a los gases, situación que se explica en la sección 5.2, también en la forma de la llama, ya que la planta de flujo paralelo tiene una llama más corta que la planta de contraflujo la cual tiene una llama larga y esbelta. Otra diferencia resulta en la configuración de las aspas, en las que las plantas de flujo paralelo llevan las aspas que alejan de la llama al agregado al principio, cosa distinta en las plantas de contraflujo donde dichas aspas van al final del flujo del agregado por la forma en que el agregado se desplaza en el tambor, otra diferencia es su relación longitud a diámetro, ya que normalmente las plantas de flujo paralelo tienen una relación longitud a diámetro de 5:1 o 6:1.

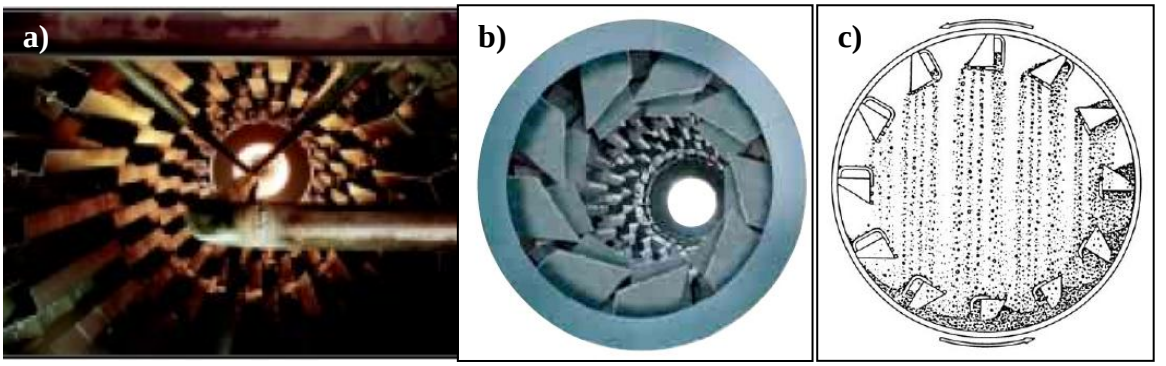


Figura 5.8. **Vista frontal de aspas: en las fotografías a y b se muestra como se ven los distintos tipos de aspas de un secador, mientras que en la figura c como distribuyen el agregado.**

Tomadas de catalogos de planta de asfalto de mezcla caliente de NOMAD, mezclador de tambor turbo double barrel de ASTEC y de Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente MS 22, Asphalt Institute.

5.3.4.1 Control de temperatura y humedad.

Es esencial una temperatura correcta del agregado, ya que la temperatura del agregado controla la temperatura de mezcla, puesto que los agregados que son calentados excesivamente pueden endurecer el asfalto y los que no son calentados adecuadamente pueden presentar problemas en el revestimiento porque el asfalto toma la temperatura del agregado que reviste. El dispositivo utilizado para medir temperatura se llama pirómetro, del cual hay dos tipos: pirómetro indicador y pirómetro de registro (ver **Fotografía 5.2**) los cuales se ubican en el canal de descarga del secador y el de registro tiene su cabeza ubicada en el cuarto de controles, dando el primero lecturas de cuadrante o digital y el segundo anota las lecturas de temperatura en un papel, quedando de forma permanente.

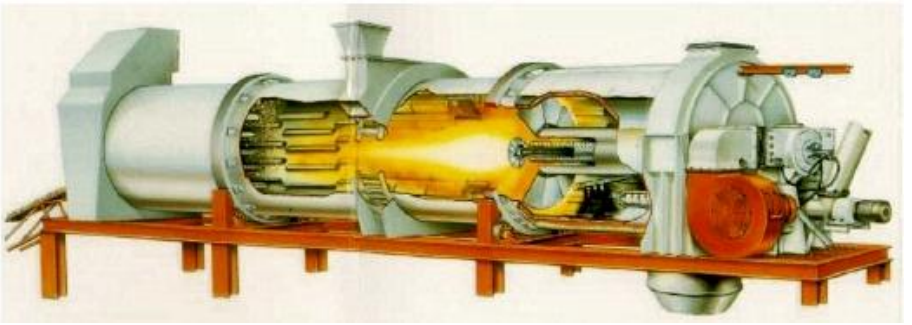


Figura 5.9 **Llama que se utiliza para secar agregados en un tambor**

Tomada de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS 22, Asphalt Institute

Los pirómetros pueden descalibrarse fácilmente con cambios de longitud en los alambres, tamaño, empalmes o uniones, por lo que debe ser nuevamente calibrado, esto se puede hacer introduciendo el elemento sensor en un baño de aceite o de asfalto caliente, al lado de un termómetro calibrado y luego comparando sus lecturas.

También se pueden hacer observaciones de humedad rápidas para ver si se deben realizar ensayos más precisos en el laboratorio, esto se puede hacer observando si hay vapores o manchas húmedas o poniendo una espátula, que sea brillante y que este limpia para observar la cantidad de humedad que se condensa en ella.

Fotografía 5.2. **Pirómetro de registro o carta de temperaturas.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

5.3.5 PROCESO DE MEZCLADO EN PLANTAS MEZCLADORAS DE TAMBOR

Estas son plantas continuas las cuales realizan la función de secado y mezclado normalmente en el mismo lugar. De estas hay diversos tipos los cuales se abordan en la sección 5.3.5.2.

5.3.5.1 Medición de asfalto

El sistema medidor de distribución de asfalto es un sistema mecánico continuo de proporcionamiento, enclavado con el sistema de pesaje de agregado para garantizar el contenido exacto de asfalto en la mezcla. La proporción de asfalto se obtiene al establecer la cantidad de descarga (en galones por minuto) necesaria para que concuerde

con la cantidad de descarga de agregado (en toneladas de agregado seco por hora). Este proceso se puede realizar por tres métodos, que se mencionan a continuación:

- Bomba de volumen variable con motor de velocidad constante, la cual nada más cambia el volumen de material bombeado tomando como referencia la cantidad de agregado que es enviada al tambor.
- Bomba de volumen constante con motor de velocidad variable, el cual tiene una bomba de desplazamiento fijo que es controlada por un motor que cambia su velocidad para variar el volumen de asfalto enviado, la que también toma en cuenta la tasa de alimentación de agregado.
- Bomba de volumen constante con motor de velocidad constante y válvula medidora, la cual envía todo el tiempo el mismo volumen de asfalto a la misma velocidad; y el volumen es ajustado por una válvula que cambia dependiendo de la tasa de alimentación de agregado, donde el asfalto remanente es enviado al tanque por una línea de retorno.

Todos estos sistemas son controlados por la computadora de la planta.

La calibración de este sistema es de suma importancia y se realiza bombeando una cantidad de material que es enviada a un contenedor previamente tarado, la mayoría de las veces es utilizado un camión distribuidor, y luego es pesado el camión con el asfalto. También se toma el volumen corregido, tomado en los medidores del sistema y se multiplica por la gravedad específica para determinar el peso enviado, este valor es comparado con el del camión y debe estar en un rango de tolerancia previamente establecido por la empresa o las especificaciones.

5.3.5.2 Tipos de plantas mezcladoras de tambor.

Las plantas mezcladoras de tambor son las siguientes:

- Tambor mezclador de flujo paralelo.
- Tambor mezclador de flujo paralelo drum mix coater I (DMC I).
- Tambor mezclador de contraflujo drum mix coater II (DMC II).
- Tambor mezclador de contraflujo con quemador incorporado.

- Tambor mezclador de contraflujo de doble tambor (double barrel).

La manera en que funcionan es explicada a continuación, en la sección 5.3.5.3.

5.3.5.3 Funcionamiento de las plantas mezcladoras de tambor.

La explicación de las plantas mezcladoras de tambor se hará a manera de reseña historica, ya que cada tipo de planta ha tenido un determinado momento para ser utilizada y un procedimiento específico para realizar la operación de secado, calentamiento y mezclado, dichos procesos se describen a continuación:

El mezclador es similar al secador rotatorio de una planta de dosificación, excepto que un mezclador de tambor no solamente seca el agregado, sino que también lo combina con el asfalto para formar la mezcla en caliente.

El agregado es llevado por aspas que hacen que el agregado gire y caiga en cortinas para un secado eficiente, luego es llevado a una zona donde es mezclado con el asfalto. Este procedimiento depende del tipo de planta mezcladora de tambor con las que estemos tratando, ya que algunas plantas suministran el agregado en la misma dirección en que se mueven los gases y otras lo hacen en dirección contraria a la de los gases, estás plantas son llamadas respectivamente plantas mezcladoras de tambor de flujo paralelo y plantas mezcladoras de tambor de contraflujo como se mencionó en la sección 5.2

Las plantas mezcladoras de tambor aparecieron como a principios del siglo XX, pero fueron desfasadas por plantas de dosificación; luego con el tiempo, a finales de los años 60 y principios de los 70 los códigos de contaminación en E.E.U.U. produjeron que se añadieran equipo adicional para el control de las emisiones, por lo que se volvieron dichas plantas de mayor tamaño y poco prácticas para su traslado. A todo lo anterior se le suma el hecho de que se habían inventando, al principio de los 70, los silos de compensación y almacenamiento, dando paso a las plantas mezcladoras de tambor.

La primera planta mezcladora de tambor era una planta de flujo paralelo en la cual el asfalto se añadía al agregado en el mismo tambor como la que se muestra en la **Figura 5.10**, pero dicho proceso producía la destilación de los asfaltos, debido a la gran cantidad

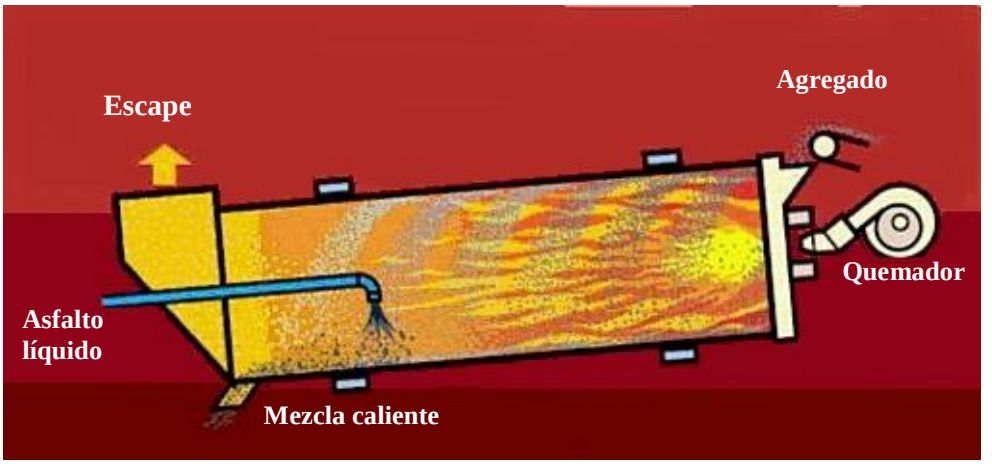


Figura 5.10. **Tambor mezclador de flujo paralelo en el cual se realizaba el secado y el mezclado en el mismo tambor.**

Tomado del boletín técnico T 119S, Tambor secador mezclador

de vapor que generaba el agregado al secarse en el tambor; por lo que a mediados de los 80's se decidió que el asfalto debía ser añadido a la mezcla en un lugar donde estuviera alejado del chorro de gases para evitar la exposición a los gases y vapores calientes, ya que los asfaltos vírgenes tenían un alto contenido de aceites livianos, por lo que se creo la planta drum mix coater I (ver **Figura 5.11**) la cual era una planta de flujo paralelo, pero con un mezclador aparte donde se añadía el asfalto. En las plantas drum mix coater I se tenían problemas de emisiones muy altas cuando se le introducía asfalto reciclado a la mezcla, por lo que se decidió desarrollar la planta drum mix coater II (ver **Figura 5.12**), la cual era una planta de contraflujo; pero que también realizaba la mezcla del asfalto con el agregado en un mezclador aparte. Este tipo de planta fue luego descartada, ya que el tiempo de mezclado era menor cuando se añadía material reciclado, dando así una muestra poco homogénea.

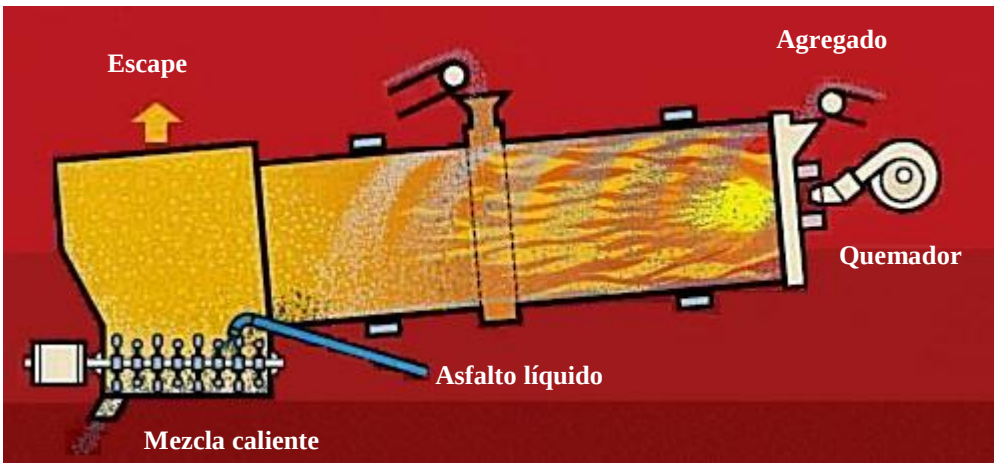


Figura 5.11. **Tambor mezclador de flujo paralelo Drum mix coater I (DMCI) en el cual se realizaba el secado en el tambor y el mezclado en un mezclador aparte.**

Tomado del boletín técnico T 119S, Tambor secador mezclador

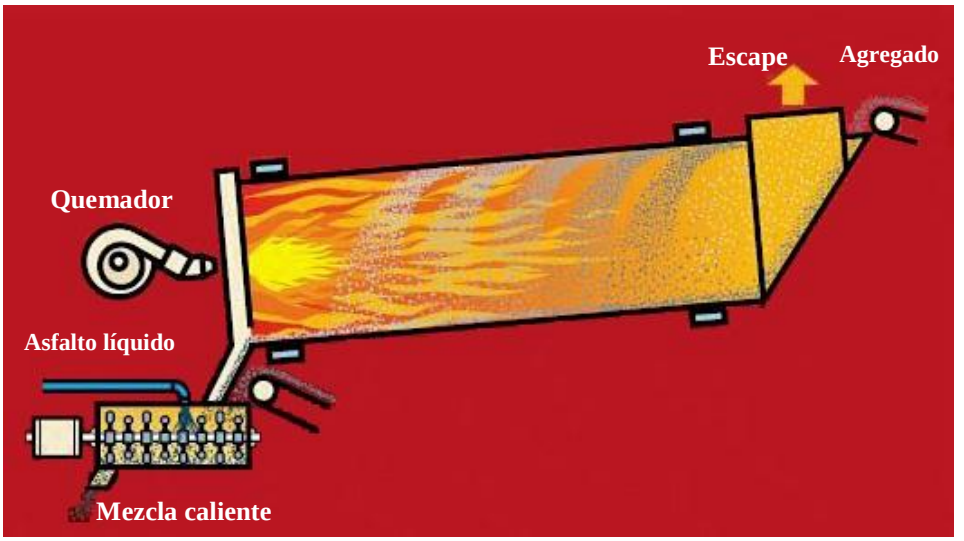


Figura 5.12. **Tambor mezclador de contraflujo Drum mix coater II (DMCII) en el cual se realizaba el secado en el tambor y el mezclado en un mezclador aparte.**

Tomado del boletín técnico T 119S, Tambor secador mezclador

Después se desarrollaron el tambor mezclador de contraflujo con quemador incorporado, en el cual el agregado fluye en dirección contraria a los gases de secado (ver **Figura 5.13**) y contiene un quemador insertado 4 m en el tambor, la cual es la zona donde se mezcla el agregado y el asfalto, también se desarrolló el mezclador double barrel el cual tiene un tambor interno para secado y calentamiento del agregado, del cual luego se pasa a través de un orificio en una pared a un tambor externo donde se mezcla el agregado y el asfalto aparte de los gases para calentar el agregado (ver **Figura 5.14**), permitiendo de esta forma un proceso de mezclado más seguro, puesto que el asfalto no corre el riesgo de envejecerse. El proceso de mezclado se realiza en un tiempo de 3/4 a 1 min, proveyendo el 90% del calor los agregados y el 10% la carcasa del tambor.

De todas las plantas mencionadas anteriormente las más modernas son las de quemador incorporado y las de doble tambor quedando prácticamente obsoletos los demás tipos.

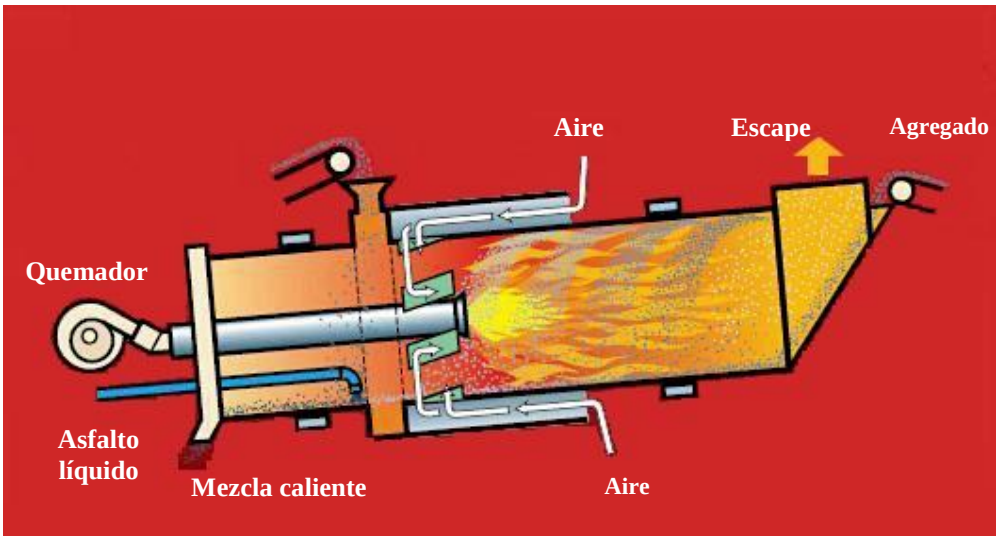


Figura 5.13. **Tambor mezclador de contraflujo con quemador incorporado en el que se seca el agregado y se mezcla con el asfalto en el mismo tambor, pero en una zona separada de la llama.**

Tomado del boletín técnico T 119S, Tambor secador mezclador

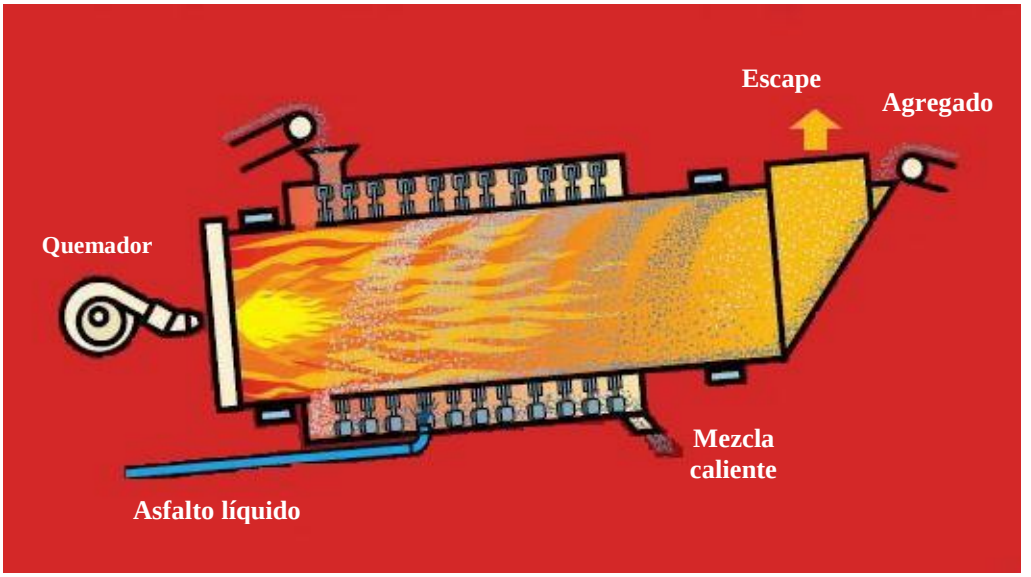


Figura 5.14. **Tambor mezclador de contraflujo double barrel el cual seca el agregado en el tambor interno, y la mezcla con el asfalto se realiza en el tambor exterior.**

Tomado del boletín técnico T 119S, Tambor secador mezclador

5.3.6 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLADO.

A continuación se describe el procedimiento para determinar el tiempo de mezclado. Para comenzar la determinación del tiempo de mezclado se sugiere que la planta comience operaciones con un ciclo de mezclado de 30 segundos.

1) Luego se toman 3 muestras de la mezcla en caliente inmediatamente después de que esta es descargada del mezclador. Estas muestras deben provenir de tres cargas alternas de camión.
2) Las muestras son inmediatamente tamizadas, mientras están calientes, a través del tamiz de 9.5mm (3/8") y el de 4.75mm (No.4). Estos tamices solo se aplican a materiales con tamaños máximos de 9.5mm (3/8"). Cada muestra debe ser lo suficientemente grande para producir de 200 a 500 partículas gruesas sobre el tamiz. El tamiz no debe ser sobrecargado. Si es necesario, la muestra puede ser tamizada en dos o tres operaciones. El sacudimiento del tamiz debe ser mínimo.

3) Las partículas de la muestra son luego colocadas sobre una superficie limpia, en una capa de una sola partícula de espesor. Se procede inmediatamente a contarlas.
4) Cada partícula es luego examinada contra la luz directa del sol. La partícula se clasifica como parcialmente revestida si tan solo tiene una pequeña parte sin cubrir. Las partículas que están totalmente cubiertas se clasifican como totalmente revestidas.
5) El porcentaje de partículas revestidas, para una muestra, se calcula usando la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje revestido} = \frac{\text{Número de partículas totalmente revestidas}}{\text{Número total de partículas}} \times 100$$

6) Si el promedio de las tres muestras es mayor que el especificado se puede usar un tiempo menor de mezclado. En este caso se repiten los pasos 1, 2, 3, 4 y 5 hasta que se obtenga el menor tiempo posible de mezclado que produzca el porcentaje especificado. Si el promedio es menor que el especificado, el tiempo de mezclado se debe aumentar en intervalos de 5 segundos hasta que se obtenga la condición deseada.

La temperatura en la mezcla del tipo de asfalto, por lo que se deberá tener un rango de temperatura definido, de acuerdo a ensayos al asfalto; aunque no se debe olvidar que la temperatura del agregado es la que gobierna la de la mezcla, por lo tanto se debe conocer el rango establecido por las cartas de viscosidad-temperatura y dársele un buen proceso de calentamiento y secado al agregado.

5.3.7 SISTEMAS DE CONTROL DE POLVO Y DE RECOLECCIÓN.

Las plantas de producción de mezclas asfálticas son por lo general dotadas de sistemas de control de polvo y de polución, debido a las normas y regulaciones medioambientales que hay en la mayoría de países. Por lo tanto, se han desarrollado equipos que restringen el escape de contaminantes en las plantas. Con el control que existe actualmente se

vuelve difícil aun, lograr procesos sin emisiones de contaminantes, puesto que durante el proceso de producción de mezclas asfálticas se escapan algunos contaminantes gaseosos y partículas, por lo que se debe tener un control de estos contaminantes, ya que dichas emisiones deben tener un límite.

Estos controles se pueden hacer midiéndose a veces las emisiones que salen por la chimenea por un método conocido como método visual, el cual no es más que una comparación de las emisiones de la chimenea con un gráfico que ilustra los colores y la claridad de varias densidades de humo emparejando el color y la densidad del escape del humo por encima de la chimenea. Aunque es de notar que el método visual no determina exactamente la cantidad de material contaminante liberado, utilizándose en consecuencia medidores electrónicos de opacidad, que están sustituyendo las gráficas actualmente.

También se tiene un gran interés en la unidad de combustión, donde es necesaria la revisión periódica de los quemadores y el equipo adjunto, para detectar suciedad o si se han taponado, produciendo mezclas inapropiadas de aire-combustible, por lo tanto deben ser limpiados y ajustados.

Otra fuente de contaminación es el polvo que se escapa de la unidad de secado de la planta, debiéndose utilizar colectores de polvo, entre los cuales tenemos:

5.3.7.1 Colectores centrífugos de polvo.

Los colectores centrífugos de polvo (tipo ciclón) operan bajo el principio de la separación centrífuga. El escape de la parte superior del secador aspira el humo y los materiales finos, y los dirige hacia la centrifuga en donde son movidos en espiral. Las partículas grandes golpean la pared exterior y caen al fondo de la centrifuga; el polvo y el humo son descargados a través de la parte superior del colector, como es mostrado por las flechas de la figura 5.15. Los finos recogidos en el fondo de la centrifuga son levantados por una barrena de retorno de polvo y pueden ser devueltos a la planta o desechados.

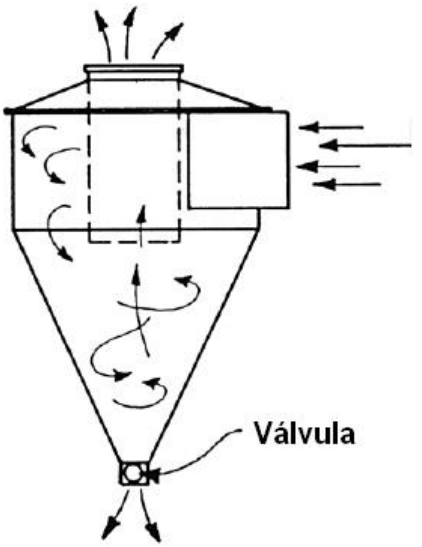


Figura 5.15 **Colector centrífugo de polvo (típico)**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS 22, Asphalt Institute

5.3.7.2 Depuradores húmedos.

El propósito de un depurador húmedo es el de atrapar partículas de polvo en gotas de agua y removerlas de los gases del escape. Esto se logra al romper el agua en pequeñas gotas y poniendo estas en contacto directo con los gases cargados de polvo. Los gases del secador son introducidos en la cámara a través de una toma de entrada, mientras que el agua es rociada dentro de la cámara mediante boquillas que se encuentran alrededor de la periferia (ver **Figura 5.16**).

Los depuradores húmedos son equipos relativamente eficientes. Sin embargo tienen ciertas desventajas. Primero, el polvo atrapado en las gotas no se puede recuperar. Segundo, el agua de desecho que contiene el polvo debe ser manejada correctamente para prevenir que se convierta en otra fuente de polución. Adicionalmente, los depuradores húmedos necesitan una fuente grande de agua, puesto que pueden usar más de 300 galones por minuto. La mayoría de los depuradores húmedos se usan en combinación con

un colector de centrifuga. El ciclón recoge los materiales más gruesos y el depurador húmedo remueve los finos.

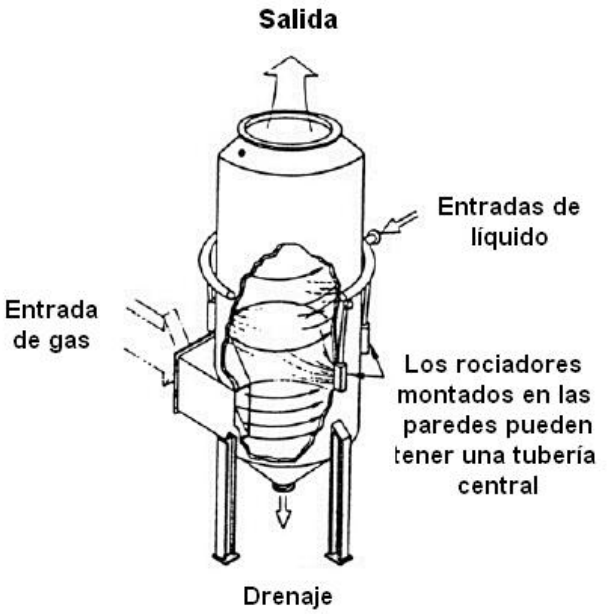


Figura 5.16. **Depurador húmedo (típico)**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS 22, Asphalt Institute

5.3.7.3 Compartimiento de filtros (Filtros de tejido)

Un compartimiento de filtros (ver figura 5.17) es un lugar grande de metal que contiene cientos de bolsas de tejido sintético, resistente al calor, usualmente tratadas con silicona para aumentar su capacidad de recoger partículas muy finas de polvo. Un compartimiento de filtros trabaja muy parecido a como trabaja una aspiradora de polvo. Un ventilador grande de vacíos crea succión dentro del compartimiento, la cual atrae aire sucio y lo filtra a través del tejido de las bolsas. Para manejar el inmenso volumen de gases provenientes del escape del secador de agregado, se requiere un número muy grande de bolsas (una unidad típica puede contener hasta 800).

Un compartimiento de filtros está dividido en una cámara de gas sucio y una cámara de gas limpio. Las bolsas filtrantes se encuentran en la cámara de gas sucio, a donde entra el

aire proveniente del secador. El flujo de aire que lleva las partículas de polvo pasa a través del tejido de las bolsas filtrantes, depositando el polvo en la superficie de la bolsa.

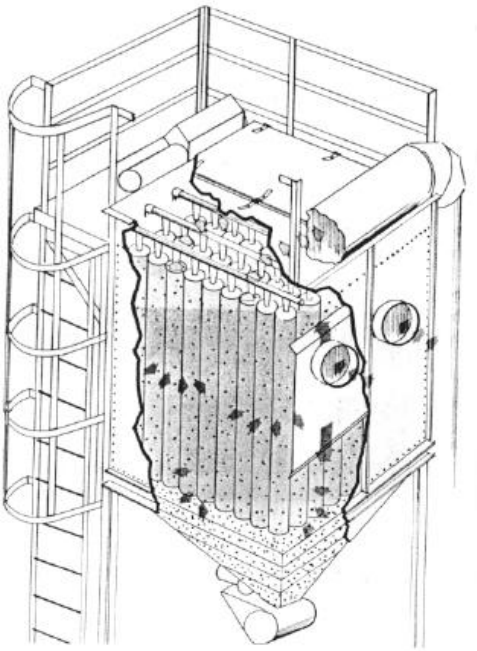


Figura 5.17. **Compartimiento de filtros (o baghouse)**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS 22, Asphalt Institute

El aire luego continúa hacia la cámara de gas limpio. Durante la operación los tejidos filtrantes atrapan grandes cantidades de polvo. Eventualmente, el polvo se acumula en una "torta de polvo" que debe ser removida antes de que disminuya o pare el flujo de gas a través del filtro. Hay muchas maneras de limpiar las bolsas en un colector, pero los métodos más comunes consisten en doblar las bolsas al reverso, hacer una limpieza al reverso con aire limpio, o ambas cosas. El polvo removido de los filtros cae en un barreno situado en el fondo de la casa y es transferido a un silo de almacenamiento, donde frecuentemente es usado para la mezcla en caliente.

5.3.8 ALMACENAMIENTO DE MEZCLA EN CALIENTE

La mayoría de las plantas están equipadas con silos de almacenaje (depósitos de compensación como los mostrados en la **Fotografía 5.3** para el almacenamiento temporal de mezcla asfáltica en caliente, con el fin de prevenir paros en la planta debido a interrupciones temporales en las operaciones de pavimentación, o debido a la escasez de camiones que transportan material de la planta al lugar de pavimentación. La mezcla en caliente recién elaborada es depositada por medio de un transportador, o elevador de material caliente, en la parte superior del depósito o silo, y es descargada en los camiones por la parte baja. Los silos o depósitos aislados pueden almacenar mezcla en caliente hasta por 12 horas sin tener pérdidas grandes de calor o de calidad. Las capacidades fluctúan tanto como varios cientos de toneladas. Las estructuras de almacenamiento no aisladas son pequeñas y solamente pueden almacenar mezcla por un periodo corto de tiempo.

En los silos se deben tener ciertas precauciones concernientes a la segregación de la mezcla, como utilizar una placa deflectora o un sistema de división en el cual la mezcla sea colocada en cada parte del silo, o un dispositivo similar, en el extremo de descarga del transportador que carga el silo. También es recomendable mantener el silo lleno, en al menos una tercera parte, para evitar la segregación mientras se desocupa; así como para mantener la mezcla caliente.

En cuanto a la forma del silo, estos tienen distintas formas, que pueden ser ovales, elípticas, rectangulares, cuadradas y circulares (ver **Fotografía 5.3**). De todas estas formas la circular es la que genera menos problemas de segregación, aunque es de mencionar que el diámetro es un factor importante, ya que entre mayor sea el diámetro hay un riesgo mayor de segregación, más que todo en mezclas con agregado grueso de gran tamaño. Es de recalcar que la forma del silo no es un factor del que dependa tanto el problema de la segregación, sino que lo es más el manejo de la mezcla al cargar y descargar el silo. La limpieza de los silos forma parte esencial de su proceso de mantenimiento y se debe realizar de forma periódica, ya que quedan ciertos residuos de

mezcla asfáltica adheridos a las paredes, los cuales se endurecen y pueden caer junto con la descarga del silo en los camiones.

Fotografía 5.3 **Silos con forma circular para el almacenamiento de mezcla asfáltica en caliente.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

5.3.9 CARGA Y PESAJE DE MEZCLA.

Normalmente la mezcla asfáltica en caliente es transportada en camiones hacia los lugares donde se realiza la pavimentación. Los camiones varían en tamaño y tipo, pero una uniformidad en el equipo es muy conveniente en cualquier operación de pavimentación. Los camiones deberán ser inspeccionados antes de ser usados.

Un problema común al momento de realizar la carga de la mezcla asfáltica, es la segregación de la mezcla un problema que se acentúa mayormente al utilizar agregado grueso de gran tamaño, por lo que se debe tener mucho cuidado al momento de cargar la mezcla en los camiones. Una forma de reducir la segregación al momento de cargar el camión es acortando la distancia en la que el agregado grueso puede rodar; así como realizando descargas múltiples en distintos lugares de la cama del camión como se muestra en la **Figura 5.18** y la **Fotografía 5.4.**

Otra operación que debe realizarse es pesar la cantidad de carga en un camión, la que se hace pesando los camiones en básculas (ver **Fotografía 5.5**), debiéndose en primer lugar, tarar los camiones y tener un registro del peso de dichos camiones, luego cada cierto tiempo se pueden tarar aleatoriamente para verificar su peso, después se pesa ya con la carga. Cuando se utilizan básculas de camión estas deben ser horizontales, del tipo que indica el peso total del camión, y tener suficiente tamaño para pesar todos los ejes del camión al mismo tiempo.

La exactitud de la báscula debe ser revisada periódicamente; siendo necesario para este propósito cargar un camión con algún tipo de material, pesar en la báscula el camión cargado, y luego pesar en otra serie de básculas certificadas. También se debe verificar que la báscula este balanceada antes de su uso, ya que la báscula puede descalibrarse cuando los camiones dejan lodo o material extraño sobre la plataforma; esto se puede corregir fijando el contrapeso hasta que quede balanceada, si no queda en equilibrio fijando el contrapeso, entonces se deberá limpiar la plataforma, si aún con esta corrección no se logra el equilibrio de la báscula se deberá cesar la operación de producción hasta que la báscula vuelva a trabajar correctamente.
En plantas automatizadas se utiliza un sistema automático de registros.

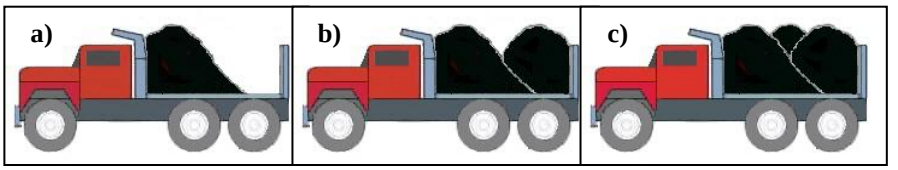
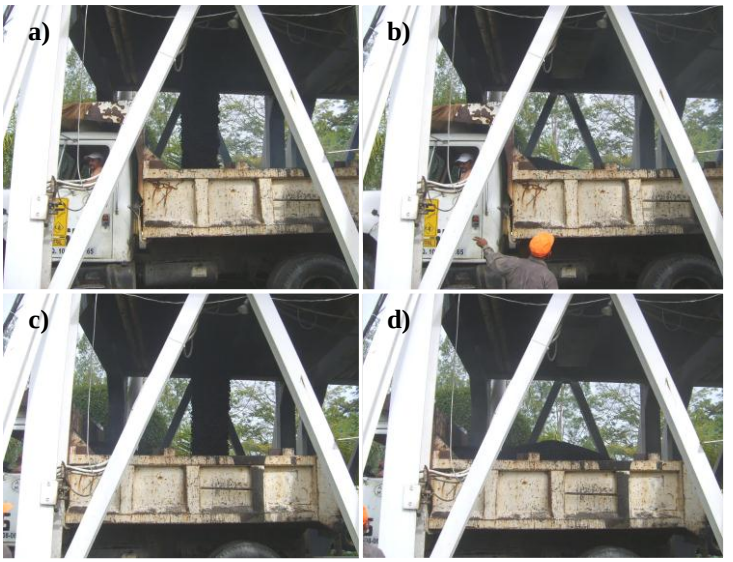


Figura 5.18.

Proceso de carga de camiones en forma esquemática, donde también se puede notar que la carga se realiza en lugares distintos de la cama del camión:
a) Parte delantera
b) Parte trasera
c) Parte central



Fotografía 5.4. **Proceso de carga de camiones en el que se puede notar como se realiza la carga en distintos lugares del camión:**
a) Parte delantera **b) Parte trasera**
c) Al centro **d) Carga completa**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa

Fotografía 5.5. **Báscula para el pesaje de la carga de los camiones**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa

5.4 INSPECCION DE LA MEZCLA EN CALIENTE

Cuando se está produciendo mezcla en caliente se debe realizar inspecciones visuales a la mezcla a medida que esta es descargada al camión, y también cuando va saliendo de la planta al lugar donde será colocada. Muchos problemas graves en la mezcla pueden ser detectados mediante una cuidadosa inspección visual.

En primer lugar se debe tomar la temperatura, ya sea en los camiones introduciendo un termómetro con vástago unos 15 cms o con un medidor térmico infrarrojo, tipo pistola, con el cual se podrán hacer lecturas en el camión, aunque es mucho mejor disparar el medidor en la mezcla al momento que es descargada en el camión para una lectura más confiable sobre la temperatura de la mezcla.

Otros problemas que se pueden observar en la mezcla es cuando se forma un pico pronunciado el cual puede indicar una falta de calentamiento o que el contenido de asfalto en la mezcla es muy bajo. Por otro lado si la mezcla se asienta en el camión (no forma un pico bien definido), puede ser que tenga demasiado asfalto o demasiada humedad.

Humo azul que se eleva de la mezcla es una indicación de sobrecalentamiento de la mezcla. Otra forma en la que se puede notar una temperatura baja es que la muestra se observe inactiva a medida que se deposita en el camión y puede mostrar una distribución no uniforme de asfalto. En el anexo II se muestran algunos problemas en la mezcla y sus posibles causas.

5.5 IMPORTANCIA DE VERIFICAR LA CALIDAD DE LA MEZCLA PRODUCIDA.

El control de calidad de la mezcla producida es una de las partes más importantes en las plantas de mezcla asfáltica en caliente, puesto que este determina si la mezcla es apta o no para ser colocada en un proyecto en específico. Tanto el control de la temperatura de la mezcla, el muestreo y los ensayos que se realizan a la mezcla son fundamentales para verificar si las propiedades de la mezcla cumplen o no con las propiedades establecidas por el diseño y las especificaciones para un proyecto en particular. Por las razones

anteriormente mencionadas deben seguirse los procedimientos de muestreo y ensayos al pie de la letra; así como deben realizarse los ensayos que sean necesarios en cuanto a tipo de ensayo y cantidad para garantizar que los resultados provean las características verdaderas de la mezcla que se está produciendo.

El Instituto del Asfalto recomienda la realización de los siguientes ensayos a la mezcla producida:

Ensayo de extracción (Referirse al ensayo No. 25 del capítulo IV)

Análisis granulométrico (Referirse al ensayo No. 26 del capítulo IV)

Análisis de estabilidad y densidad (Referirse a los ensayos No. 22, 23 y 24 del capítulo IV)

Con el ensayo de extracción se determina el contenido de asfalto, con el análisis granulométrico del agregado remanente del ensayo de extracción se verifica que la granulometría este dentro de la banda de control, ya sea esta especificada por el contratante, el diseñador o algún organismo que provea especificaciones para dicha mezcla; y en último lugar el análisis de estabilidad y densidad, que corresponden al ensayo de Estabilidad y Flujo (ver ensayo No. 22, capítulo IV), así como el ensayo para la Gravedad Específica Bulk y Gravedad Específica Teórica Máxima donde se verifica la densidad y el porcentaje de vacíos, VMA, VFA de la mezcla a un espécimen previamente compactado. Todos estos valores son comparados con los parámetros del diseño Marshall para verificar si se encuentran dentro de los límites que establece dicho método.

Es de notar que el proceso de control de calidad de las mezclas asfálticas producidas en planta no sólo se remite a los ensayos de Extracción de Ligante Asfáltico, Comprobación Granulométrica de Agregado Extraído, Estabilidad y Flujo, Gravedad Específica Bulk y Gravedad Específica Teórica Máxima los que se hacen a la mezcla producida, sino que también se debe controlar que todas las partes de la planta operen adecuadamente para que se produzca una mezcla de buena calidad, estos controles son los que se han mencionado en los apartados anteriores e incluyen el almacenamiento de los materiales en forma adecuada, control del sistema de alimentación en frío, sistema colector de polvo, quemador del calentador de agregados y la temperatura del quemador, sistema de

tolvas calientes (para plantas de dosificación), calibración del sistema de pesaje de agregado ya sea en la banda transportadora para plantas continúas o cajas de pesaje para plantas de dosificación, calibración de cubeta para dosificación de asfalto, mezclador y el sistema de silos en cuanto a su forma de carga y descarga para disminuir la segregación de la mezcla. Una revisión de los sistemas eléctricos y mecánicos de toda la planta es de suma importancia para controlar adecuadamente todos los procesos que conlleva la producción de mezcla.

5.6 PROCESO DIARIO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN.

En todas las plantas siempre hay procesos que deben llevarse a cabo periódicamente o a diario para garantizar una buena operación de toda la planta en sí. Por lo tanto se describe a continuación un procedimiento general tomado de algunas entrevistas realizadas a encargados de plantas de producción. Durante la época lluviosa se recomienda tapar los acopios. Antes de iniciar la producción es aconsejable homogenizar el material pétreo que se va a utilizar con el fin de distribuir mejor la humedad y evitar la segregación. Como parte del control de calidad se toman muestras de cada uno de los agregados individuales de cada acopio (ver **Fotografía 5.6**) para conocer su humedad con el propósito de ajustar la intensidad de la llama del quemador y también porque la planta dosifica el agregado por peso, por lo tanto se debe restar el peso de agua que este lleva.

Al inicio de la producción se debe operar la planta sin carga durante un tiempo con el fin de calentar las bandas que llevarán el agregado para que estas se relajen, ya que al mantenerse tensa la banda, esta no toca con la celda de pesado pudiendo dar valores erróneos de peso, por lo que se dosificaría una cantidad inexacta de asfalto.

Otro procedimiento diario es la revisión eléctrica y mecánica de todo el equipo para no encontrarse con problemas al momento de comenzar la operación.

Se mide la temperatura del asfalto en los tanques de almacenamiento para asegurarse que es la adecuada para dar comienzo al proceso de producción.

Una vez arranca la producción de la mezcla las primeras toneladas sirven para estabilizar la máquina y se consideran desperdicio, ya que al no cumplir con las especificaciones de

temperatura y/o contenido de asfalto deben ser desechados. Este proceso se repite de igual manera al final de la producción, y este material no debe ser mezclado con el material de buena calidad que será despachado. Las plantas de mezcla deben realizar esfuerzos por minimizar este desperdicio, ya que es parte de los costos de producción. Una vez se determina que la mezcla producida tiene la temperatura y porcentaje de asfalto adecuado se procede a almacenar en los silos o a despachar.

Fotografía 5.6.

Proceso para la determinación de humedades:
a) Muestreo de agregado intermedio.
b) Muestreo de agregado grueso.
c) Pesado de agregado húmedo.

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa

En el silo la mezcla tiende a segregarse, para minimizar esto se debe tratar de mantener el silo con una cantidad mínima de mezcla al momento del despacho. Se recomienda no exceder de 12 horas el almacenamiento en el silo.

El tiempo de mezclado es fijo y depende de las dimensiones del tambor.

En cuanto a la carga en los camiones se debe hacer en más de dos partes para evitar la segregación, ver la sección 5.3.9. Se debe reportar la temperatura de despacho de la mezcla, normalmente este dato se reporta en una boleta. Se puede medir en cada camión

de despacho o aleatoriamente, esto dependerá del criterio del ingeniero o lo que dicten las especificaciones técnicas para un proyecto en particular.

La calibración del equipo es otra parte importante, el sistema de alimentación en frío de agregado se calibra cada 3 meses o cuando haya síntomas de algún problema en la planta, las celdas de pesaje también deben ser calibradas periódicamente, al igual que el sistema de inyección de asfalto. El quemador debe ajustarse recién adquirido el equipo o cuando haya cambios de combustible para garantizar que el combustible sea consumido totalmente. En todo caso deben seguirse las recomendaciones del fabricante, a este respecto.

5.7 MUESTREO EN PLANTAS DE PRODUCCIÓN.

La Secretaría de Integración Económica Centro Americana (SIECA) no da recomendaciones en cuanto al muestreo en las plantas de mezclas asfálticas en caliente. Esto queda a criterio del ingeniero o encargado de la planta, ya que algunos muestrean cada 500 Ton o a cada bachada independientemente de la cantidad producida. La muestra de control se puede tomar en un camión de despacho o en algún punto de inspección de la planta. Por ejemplo en una planta mezcladora de tambor se puede tomar a la salida del tambor o donde aplique, en una banda.

En cuanto al muestreo de agregados y asfalto en planta tampoco específica la SIECA cada cuanto se debe realizar un ensayo, por lo tanto se debe remitir a las especificaciones de un proyecto. Los ensayos a los asfaltos no son comunes, ya que en nuestro país la refinería le realiza ensayos al asfalto por cada bachada que fabrica y manda una certificación con los resultados de los ensayos, por lo que normalmente en las plantas no se realizan estos ensayos.

El Instituto del Asfalto recomienda un programa de muestreo y ensayos como los mostrados en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. **Sugerencias para programa de muestreo y ensayos.**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Calientes, MS 22, Asphalt Institte

Muestra de	Frecuencia Mínima de Muestreo	Tamaño Mínimo de Muestra	Ensayo a ser efectuado	Designación del Método de Ensayo
Mezcla sin Compactar	2 Diarias	20 lbs (9.0 kg)	Extracción Completa	AASHTO T 168 AASHTO T 164 AASHTO T 30
Mezcla Compactada	2 Diarias	15 lbs (6.8 kg)	Densidad y Estabilidad	AASHTO T 209 Requisitos de las Especificaciones de la obra

Tabla 5.3. **Frecuencia de ensayos y muestreo para pavimentos colocados según la SIECA.**

Tomada de Las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, del Muanal Centroamericano de la SIECA

Material o producto	Propiedad o característica	Categoría	Método de prueba o especificación	Frecuencia	Punto de muestreo
Capa de superficie de concreto asfáltico procesado en planta en caliente, con ligante asfáltico no modificado	Contenido de asfalto	I	FLH T 516, FLH T 517, o AASHTO T 164	1 cada 500 Toneladas	Después de la colocación y antes de la compactación
	Granulometría (1) 4.75 mm 600 µm 75 µm Otros tamices especificados	I II I II	AASHTO T 30 (4)	1 cada 500 Toneladas	Después de la colocación y antes de la compactación
	Densidad en núcleos (2)	I	AASHTO T 166 Y AASHTO T 209	1 cada 500 Toneladas	En sitio, no más de dos semanas después de la compactación
	Rugosidad superficial (3)	I	A definir por el Contratante	Sub-lotes de 0.1 a lo largo de todo el proyecto	En sitio, posterior a la colocación
	Deflexión en la superficie del pavimento (3)	I	A definir por el Contratante	Sub-lotes de 0.1 a lo largo de todo el proyecto	En sitio, posterior a la colocación
	Deformación permanente (4)	I	En sitio, posterior a la compactación	A definir por el contratante	A definir por Administración
	Fatiga (4)	I	En sitio, posterior a la compactación	A definir por Administración	A definir por Administración

1) Usar sólo los tamices requeridos por las especificaciones de granulometría.
2) Cortar núcleos del pavimento compactado, de acuerdo con AASHTO T 230, método B. Llenar y compactar el hueco correspondiente al muestreo con mezcla de concreto asfáltico.
3) Se aplica solo a capas de superficie, de acuerdo con el contrato.
4) Para mezcla asfáltica que se use en capas asfálticas con vida útil de más de tres millones de ejes equivalentes.

Pero es de recalcar que se deben atender a las especificaciones de cada proyecto en cuanto al tipo de ensayo, frecuencia (o periodicidad) y cantidad de muestras. La SIECA propone frecuencias de muestreo para pavimentos, las cuales son mostradas en la tabla 5.3.

5.8 EJEMPLO DE UN CONTROL DE CALIDAD REALIZADO A UNA BACHADA PRODUCIDA EN PLANTA DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.

A continuación se da un ejemplo de valores proporcionados de un ensayo muestreado en un día de producción la que se compara con los parámetros Marshall como se muestra en la **Tabla 5.4**:

Tabla 5.4. **Resultados de un ensayo periódico en un día regular de producción comparados con los parámetros Marshall**

Parámetros Marshall		
Flujo (mm)	2.67	2mm - 4mm
Estabilidad (kg)	1863	816 Kg mínimo
% vacíos	4.8	3%-5%
% VMA	16.40	14% mínimo
% VFA	70.82	65% - 75%
Otros valores que deben ser controlados		
Densidad bulk	2.328	-
Teorica máxima	2.445	-
% asfalto	5.9	5.29% – 6.29%
Polvo/asfalto	1.20	0.60 – 1.30

Es de notar en la **Tabla 5.4** que lo que se debe tratar, es de caer dentro de los límites del método Marshall y en las bandas de control establecidas en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), para poder decir que la muestra cumple con la calidad

especificada. Estos resultados fueron encontrados después de realizar un procedimiento Marshall completo a una muestra de MAC para verificar los parámetros que dictan la calidad de la mezcla. También es de notar que el intervalo de control para el porcentaje de asfalto se definió en el diseño de la MAC aplicándole los valores de tolerancia al contenido óptimo de asfalto de ± 0.5% de la siguiente manera:

Se toma el contenido óptimo de la sección 4.4.9 del capítulo de diseño de mezclas y este es de: 5.79%

Aplicando la tolerancia es 5.79% – 0.5% = 5.29% y se toma como límite inferior

5.79% + 0.5% = 6.29%, se toma como límite superior

Quedando el intervalo para contenido de asfalto de 5.29% - 6.29%

Luego se controla la granulometría del agregado extraído de la mezcla con la banda de control determinada en el diseño y los resultados de la granulometría se muestran en la **Tabla 5.5**:

Tabla 5.5 **Control de granulometría del agregado extraído comparada con la banda de control determinada en el diseño.**

Tamaño de tamices	Tamaño de tamices en mm	% que pasa	Banda de control
3/4"	19.0 mm	100	100
1/2"	12.5 mm	100	97 - 100
3/8"	9.5 mm	89	84 - 94
No 4	4.75 mm	58	50 - 62
No 8	2.36 mm	41	35 - 47
No 30	0.60 mm	22	20 - 28
No 50	0.30 mm	14	14 - 20
No 200	0.075 mm	7.1	5.5 - 9.5

Analizando los datos de las tablas 5.4 y 5.5, se puede observar que todos los valores caen dentro de las tolerancias del Método Marshall, contenido de asfalto, relación polvo/asfalto y de la banda de control de la granulometría; por lo que se concluye que la MAC cumple con el control de calidad.

5.9 DISPOSICIONES DE LA SIECA EN CUANTO A LAS PLANTAS PARA MEZCLAS ASFALTICAS.

Según la sección 401.04 "Plantas procesadoras de mezcla asfáltica en caliente" de las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales de la SIECA se especifica que:

Las plantas deberán cumplir con los requisitos de AASHTO M 156 (ver ensayo No. 27), además de lo siguiente:

(a) Todos los tipos de plantas.

i) Controles automatizados. Control del proporcionamiento, mezcla y descarga de mezcla deben controlarse por medios automatizados (control remoto).

ii) Retorno de finos. Además de las especificaciones de AASHTO M 156 referentes a control de emisiones, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Equipar la planta con un colector de polvo. Se usará el material recolectado o se retornará de manera uniforme.

Cuando se use material fino retornado, en plantas de dosificación (de bache) o continuas, se deberá depositar el material de retorno en el fondo de la torre elevadora, cuantificando su dosificación por volumen o masa dentro de la cámara de mezclado. El retorno directo a la torre elevadora será permitido sólo cuando el flujo pueda controlarse a una tasa uniforme. En plantas con tambor secador y mezclador ó plantas continuas, el retorno del material al tambor se hará en el mismo punto donde se alimenta el flujo de asfalto (punto de descarga).

iii) Almacenamiento de agregados. Deberá estar de acuerdo con la Sección 307 "Apilamiento de Agregados".

(b) Plantas con tambor secador y mezclador.

i) Tolvas. Deberá proveerse una tolva fría para cada agregado de apilamiento que se incorpore en la mezcla (no se permite la premezcla en patio), de acuerdo con la dosificación de diseño. Las tolvas deberán ser de suficiente tamaño para mantener la

planta en operación continua, y diseñadas de manera apropiada para evitar el derrame de material de una tolva a otra.

ii) Maniobras de apilamiento. Los agregados deben estar separados en al menos 3 apilamientos, con diferentes granulometrías. Como mínimo, un apilamiento debe contener agregado grueso, agregado intermedio y el otro agregado fino. El apilamiento de agregados debe realizarse en conformidad a la Sección 307 "Apilamiento de Agregados".

(c) Plantas de bache.

ii) Tolvas calientes. Se proveerá una tolva en caliente con al menos tres compartimientos separados, para almacenamiento de las fracciones cribadas que se combinarán en el proceso de mezcla. Las separaciones entre compartimentos deben ser resistentes y de suficiente altura para prevenir el derrame de agregados de un compartimiento a otro.

ii) Celdas de carga. En plantas de dosificación o bache se permite el uso de celdas de carga calibradas, o balanzas de dosificación.

CAPITULO VI: COLOCACION Y COMPACTACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

6.1 GENERALIDADES

La colocación y compactación de mezcla asfáltica en caliente para formar un producto terminado como una carpeta asfáltica, consiste de dos actividades muy importantes y que además están fuertemente relacionadas, cada una tiene su procedimiento y controles respectivos, a los cuales debe apegarse todo constructor para lograr una calidad en la carpeta de acuerdo a los requisitos contractuales de cada proyecto, y de ésta forma sea aceptada por la supervisión. Por lo contrario, un control deficiente durante el proceso de colocación y compactación puede ocasionar que no se logre alcanzar la densidad estipulada, vacíos, entre otros factores; esto influirá negativamente en la calidad de una carpeta asfáltica, no cumplirá con las especificaciones de proyecto, presentará un desempeño deficiente y probablemente fallará a corto plazo, lo que en muchas ocasiones hace tachar a los pavimentos asfálticos de mala calidad, cuando en la mayoría de las ocasiones lo que realmente se hacen son malas prácticas de construcción; las cuales podemos mejorarlas tan sólo ejecutando los proyectos con los procedimientos correctos y la maquinaria adecuada. En este capítulo se hace énfasis en la importancia de la colocación y compactación de mezclas asfálticas en caliente, recalcando los aspectos generales y fundamentales que todo ingeniero relacionado a la construcción de un proyecto vial de mezcla asfáltica debe conocer y sobre todo, ejercer un buen control para que todos los procesos se realicen de la forma establecida en las especificaciones técnicas de cada uno de los proyectos viales.

6.1.1 ASPECTOS QUE DEBE CONOCER EL INGENIERO.

El conocimiento del ingeniero y su control sobre la operación de pavimentación (colocación y compactación), pueden significar la diferencia entre carpeta asfáltica durable de buena calidad; y una áspera, poco firme y de mala transitabilidad.

Por lo tanto el ingeniero tiene dos grandes responsabilidades durante la operación de pavimentación:

- Asegurar que las especificaciones del proyecto sean cumplidas, y
- Darle al contratista la oportunidad de cumplir las especificaciones de la manera más económica posible.

Al cumplir con la primera responsabilidad, el ingeniero le esta garantizando al público un pavimento que va a tener buen funcionamiento sin necesidad de reparaciones durante cierto tiempo, según el periodo de su vida útil y el tiempo que se estima para iniciar las primeras reparaciones preventivas. El cumplimiento de la segunda responsabilidad garantiza la cooperación con el contratista, la cual es esencial para la construcción de un pavimento o una carpeta asfáltica de buena calidad.

Es muy importante realizar una reunión a nivel de empresa constructora antes de iniciar los trabajos relacionados a colocación y compactación de mezclas asfálticas en caliente, el objetivo de dicha reunión es que el ingeniero residente, el jefe de pavimentación, el contratista, el supervisor y otros directamente involucrados con la operación, discutan asuntos como los siguientes:

- Quién esta autorizado para recibir ordenes del ingeniero y quién esta autorizado para entregar dichas ordenes al contratista.
- Revisiones del programa de pavimentación o de las especificaciones.
- Discutir sobre el uso y manejo de equipos nuevos
- Exponer y aclarar el uso de métodos nuevos de ensayo.
- Establecer como se construirá el tramo de prueba.
    - Procedimiento para construcción de las juntas longitudinales
    - Procedimiento para construcción de las juntas transversales.
- Capacidad de producción de la planta y colocación de la pavimentadora asfaltador.

- Como se controlará el tránsito.
- Como se realizarán y mantendrán los registros.
- Equipo necesario y personal.
- Procedimientos de control de calidad y su repetibilidad.

Se debe hablar sobre la reunión de las preparatorias. ¿Qué se debe hablar?
En dicha reunión es donde todas las dudas deben ser aclaradas, los problemas deben ser resueltos y los canales de comunicación y mando deben ser establecidos. Es el momento de establecer relaciones con todo el personal de la obra para que puedan evitarse mas adelante, las confusiones y las fricciones.

El ingeniero que este a cargo de la construcción ó de la supervisión de carpetas de mezcla asfáltica en caliente en un proyecto vial, ya sea construcción de un pavimento nuevo, colocación de una carpeta asfáltica sobre una capa asfáltica existente o sobre una de concreto, deberá tener muy en claro y conocer lo siguiente:

- Todos los procedimientos necesarios para colocar una mezcla asfáltica en caliente.
- Estar familiarizado con el funcionamiento, fundamentos de la pavimentadora (finisher) y de la enrasadora.
- Como planear y controlar una operación de pavimentación de un ancho y un espesor definido.
- Procedimientos para construir juntas transversales y longitudinales.
- Posibles deficiencias que puede haber en la colocación y en las características de la mezcla, y conocer como pueden ser corregidas.
- Debe conocer completamente las especificaciones de la obra.

Se presenta un esquema de factores importantes relacionado específicamente a la construcción, que también son importantes de mencionar los cuales ayudarán a la planificación y monitoreo del proyecto, ya que su control ayuda a la calidad del proceso constructivo.

Planificación del proyecto

- Toneladas de asfalto diarias
  - Salida de la planta
  - Distancia de transporte
  - Condiciones de tráfico
  - Número de camiones.
- Ancho de pavimentación
  - Regla de extensión
  - Tornillo de extensión
  - Nivel adecuado de mezcla en los tornillos
  - Platos retenedores de material
- Especificaciones
  - Sensores
  - Niveles
  - Posición de los sensores
  - Requisitos de compactación.
- Grado de condiciones
- Posibles problemas
  - Segregación

    Controles:

    -Desde la planta

    - En el almacenamiento en la planta

    - En la entrega de la mezcla
- Supervise defectos en la capa
  - Material demasiado grande causa raspaduras en la capa.
  - Conozca las condiciones de la base
  - Puntos altos pueden causar que la regla compactadora triture agregados
  - La capa muestra textura abierta
  - Controle la temperatura de la capa

6.1.2 RESPONSABILIDADES DEL INGENIERO

El ingeniero de pavimentación deberá comprender las responsabilidades que tiene bajo su oficio, por lo tanto, debe estar atento en:

- Las especificaciones del proyecto y deberá garantizar que estas se cumplan durante la operación de pavimentación.
- Deberá asegurarse que cada carga de mezcla sea satisfactoria, que los datos de la boleta del camión estén registrados con precisión,
- Que el asfaltador este siendo operado correctamente. Si aparecen deficiencias en la carpeta durante la colocación, el ingeniero deberá estar seguro de que estas se rectifiquen antes de que la mezcla se enfríe.
- Debe prestar atención a los detalles como el espesor correcto de la capa, el perfil transversal apropiado, la construcción y el aparejamiento correcto de las juntas, textura y uniformidad de la superficie.
- Monitorear la temperatura de la mezcla en caliente para asegurar que la temperatura correcta se mantenga durante la operación de pavimentación.
- Mantener un registro diario como referencia futura, y deberá registrar cualquier cosa inusual o cualquier evento que pueda ser usado mas adelante.

El ingeniero deberá saber apreciar su responsabilidad. Cuando sea necesario, deberá ser prudente en el trato con el contratista y en sus solicitudes de acciones remediales.

El ingeniero deberá mantener registros precisos y detallados. Además de la información incluida en los boletos de carga, el ingeniero deberá registrar cualquier evento o cambio inusual en los métodos de construcción, en el equipo, en la apariencia o manejo de la mezcla, junto con la estación (localización) de la vía donde se presentó el cambio.

El registro del ingeniero se usa para su conveniencia durante la construcción, pero también debe formar parte de los registros permanentes de la obra, una vez esta termine.

6.1.3 ACEPTACION DE LA SUPERFICIE SOBRE LA CUAL SE COLOCARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Antes de iniciar las labores de colocación de mezcla asfáltica en caliente, la superficie sobre la cual se extenderá la mezcla, debe estar previamente aceptada por la supervisión, la aceptación comprende la verificación de una resistencia uniforme, control transversal y vertical de la rasante, cuando toda la geometría y demás requisitos de la vía cumple las especificaciones, la supervisión la da por aceptada, después de esto previo al inicio de la colocación de la superficie se retira todo el material suelto como polvo y pequeñas partículas de agregado con sopladoras o barredoras mecánicas, para posteriormente proceder según sea el tipo de superficie con un riego de liga o un riego de imprimación, para dichos riegos se utilizan emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados según el tipo y especificación para dicho riego y la superficie sobre la cual se colocará..

La finalidad de este documento no contempla el proceso de aceptación de la superficie sobre la cual se colocará mezcla asfáltica, por lo tanto no se profundiza sobre estos procedimientos, solamente se da una breve descripciones de las posibles variedades de superficies sobre las cuales se extiende mezcla asfáltica y los criterios para su aceptación.

- **Subrasante** - para aceptar una subrasante, ésta debe cumplir con ciertas especificaciones, sin importar el tipo de capa de rodadura que va a soportar. Entre las que se pueden mencionar son: suficiente resistencia, debidamente graduada, uniformemente compactada, perfil transversal y longitudinal adecuado.
- **Capa base** – debe tener una resistencia uniforme, perfil transversal y longitudinal adecuado, además la superficie debe estar libre de desechos y de acumulaciones de polvo.
- **Pavimento asfáltico** – Una capa de mezcla asfáltica colocada sobre un pavimento asfáltico existente se denomina refuerzo de mezcla en caliente. El pavimento existente debe prepararse reparando los baches y las secciones inestables, se debe escarificar las secciones que sobrepasan el nivel especificado, las depresiones más

profundas deben excavarse y reemplazarse con material nuevo. Si la capa de base o subrasante debajo de un pavimento viejo se encuentra en mal estado debe ser reparada, las juntas desniveladas se deben emparejar y las grietas se deben sellar, entre otros aspectos.

- **Pavimento de concreto de cemento portland** – las capas de refuerzo colocadas sobre pavimento de concreto de cemento portland requieren de una preparación especial. Se deben identificar las juntas desiguales y las losas moviles, luego se deben estabilizar las losas usando un sellador u otro método especificado en el cual se contempla el sellado o la desintegración para posteriormente realizar una nivelación.

6.2 COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.

La colocación de mezclas asfálticas es el procedimiento en el cual la mezcla es extendida por medio de una pavimentadora con un espesor y ancho definido, dentro de un rango de temperatura aceptable. Durante este proceso se deben realizar una serie de controles partiendo desde la sincronización entre el despacho de la mezcla en planta y la correspondiente entrega en el proyecto, y subsiguientes controles después que la mezcla es extendida. Para colocar mezcla es necesario tener una buena coordinación entre la planta y el proyecto, para despachar solamente la mezcla que es necesaria, éstos controles son explicados en las siguientes secciones

6.2.1 COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y PROYECTO.

La coordinación entre planta y proyecto durante las operaciones de pavimentación es esencial a la hora de colocar mezclas asfálticas en caliente. Las operaciones coordinadas y continuas de la pavimentadora producen un pavimento de alta calidad, de aquí la importancia de llevar una buena coordinación con la producción en planta, el despacho de los camiones y la colocación de la mezcla en obra según la capacidad de la pavimentadora, ya que la planta debe producir y despachar sólo la mezcla que se necesita diariamente en el proyecto.

No hay ninguna ventaja en operar la pavimentadora a una velocidad que requiera que la mezcla deba ser suministrada mas rápido de lo que la planta puede producirla. El tratar de pavimentar demasiado rápido puede ocasionar que la pavimentadora tenga que parar frecuentemente, para esperar que los camiones lleguen y descarguen más mezcla. Si la parada es demasiado larga (más que unos minutos en un día frío), la uniformidad del pavimento va a ser afectada desfavorablemente cuando la pavimentadora empiece a operar de nuevo y coloque mezcla mucho más caliente a continuación de una más fría.
Por consiguiente, es esencial que la producción de la planta esté coordinada con las operaciones de pavimentación. La pavimentadora debe cargarse continuamente con suficiente mezcla y, al mismo tiempo, los camiones no deben esperar mucho tiempo para descargar sus contenidos en la tolva del asfaltador.

Si la carpeta que esta siendo colocada es uniforme y tiene una textura aceptable, y su espesor es correcto, entonces no es necesario hacer ajustes en el enrasador. Cuando estos ajustes son requeridos, deberán efectuarse en incrementos pequeños, y deberá permitirse cierto tiempo entre cada ajuste para que el enrasador reaccione completa y secuencialmente a cada uno de los ajustes.

Es igualmente importante que los controles de espesor del enrasador no sean ajustados excesivamente en cantidad o en frecuencia. Cada ajuste de los controles de espesor resulta en un cambio de elevación de la superficie de la carpeta. Los cambios excesivos de elevación superficial en el borde de la primera carpeta son extremadamente difíciles de igualar en el carril paralelo, cuando se esta construyendo la junta longitudinal.

6.2.2 CONTROL DURANTE LA ENTREGA DE MEZCLA EN LA OBRA.

El control durante la entrega de mezcla asfáltica en caliente en un proyecto de pavimentación es muy riguroso, ya que en buena parte, de esto dependerá la calidad del producto terminado. En la obra todo inicia con el recibimiento de los camiones que van llegando y su respectivo control, el cual comprende la verificación de los boletos de cada uno y por supuesto un control visual de la mezcla que lleva dicho camión; estos controles se explican en las siguientes secciones.

6.2.2.1 Boletos de carga

Los boletos de carga (**Figura 6.1***)* proveen los registros esenciales para el control de calidad de las operaciones de la obra, así como para el control de la cantidad de mezcla entregada. Cada empresa tiene un formato distinto, pero ciertos detalles de los boletos de carga permanecen generalmente iguales de una empresa a otra. Los boletos de carga tienen una numeración correlativa son generalmente expedidos en la planta. En ellos se encuentra el origen de la carga, nombre del proyecto, la hora en que el camión fue cargado y despachado, temperatura y peso de la carga, temperatura y hora de llegada al proyecto, número del camión, tipo de mezcla, y el lugar donde la mezcla fue colocada.

En estos boletos hay aspectos de cierta importancia para el Ingeniero. La numeración correlativa de los boletos mostrará si un camión llegó o no, al lugar de la obra, ó si llego en un orden diferente al que fue cargado y despachado en la planta.

Esto puede ocurrir debido a una avería del camión, problemas de tráfico, o cualquier otra razón; pero dará al inspector una idea de que tanto tiempo el camión ha estado cargado. Si este periodo de tiempo es más largo de lo normal, entonces se debe revisar muy bien la mezcla para ver si se encuentra a la temperatura correcta y para ver si no se han formado terrones debido a un posible enfriamiento. Si se detectan problemas serios de temperatura, la carga deberá ser rechazada. Es importante que el inspector recoja todos los boletos de carga de cada camión, a medida que el camión esta descargando.De esta manera, él se puede asegurar de que ninguna de las cargas del proyecto ha sido desviada.

Señor :		Fecha:	
Dirección:		Registro No.	
Municipio:		N.I.T	

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total
20 Ton.	Mezcla en caliente, Estacionamiento 1 + 00		

PARA USO EXCLUSIVO DE LA PLANTA

Nombre del Proyecto:	Destino:
By Pass Usulutan	Estacionamiento 1 + 00

Hora de Salida	Transportista	Temperatura de Salida
10:00 a.m.		152ºC
Placa	Motorista	Firma

PARA USO EXCLUSIVO DEL INGENIERO DEL PROYECTO

Hora de Llegada	Actividad	Temperatura de Llegada
10:10 a.m.	carpeteo	152ºC

Nombre	Firma

Figura 6.1 **Información de Boleto de Carga**

6.2.2.2 Inspección visual de la mezcla

Los procedimientos de inspección visual de mezclas deberán discutirse a fondo durante la reunión sostenida antes de la construcción. Aunque la mezcla es inspeccionada en la planta, existen ocasiones en que el ingeniero de planta puede pasar por alto, inadvertidamente, una carga defectuosa que puede ser el resultado de una falla en la planta. Algunas de estas deficiencias pueden ser notadas por el Ingeniero a cargo de la pavimentación antes de que la mezcla sea descargada. Estás deficiencias se hacen aparentes cuando se revisa la temperatura o cuando se eleva la caja del camión. Algunas indicaciones de deficiencias en la mezcla en caliente, que pueden requerir una inspección más rigurosa y posiblemente una rectificación, son:

- *Humo Azul* — El humo azul que asciende de la mezcla del camión, o tolva distribuidora, puede ser indicación de una carga sobrecalentada. En este caso, la temperatura deberá revisarse inmediatamente.

- *Apariencia Dura* — Generalmente, una carga que parezca dura o presente un pico alto (mas de lo normal), puede estar demasiado fría para cumplir con especificaciones. Su temperatura deberá revisarse. Si esta es menor que la temperatura óptima de colocación, pero se encuentra dentro del margen aceptable, entonces se deben tomar medidas inmediatas para corregir la deficiencia en temperatura, y así evitar tener que desechar la mezcla.

- *Asentamiento de la Mezcla en el Camión* — Normalmente el material en el camión se encuentra en forma de domo (cúpula). Si una carga se encuentra plana, o casi plana, puede ser que contenga demasiado asfalto o demasiada humedad. Inmediatamente se debe hacer una inspección más rigurosa. El exceso de asfalto también puede detectarse debajo del enrasador si la superficie de la carpeta aparece excesivamente brillante. Por otro lado, una mezcla que contenga gran cantidad de agregado grueso puede ser confundida con una que contenga demasiado asfalto,

debido a su apariencia lustrosa. Sin embargo, usualmente, dicha mezcla no se asentará dentro del camión.

- *Apariencia Opaca y Magra* — Una mezcla que contiene muy poco asfalto puede ser detectada inmediatamente en el camión o en la tolva distribuidora por su apariencia magra (seca) y granular, por un revestimiento incorrecto del agregado y por una falta del lustre típico brillante y negro. En la carretera, la falta de asfalto en la mezcla puede detectarse por su apariencia magra, parda y opaca en la superficie, y por una compactación inaceptable. Por otro lado, el exceso de finos en una mezcla puede dar la misma apariencia que una mezcla con muy poco asfalto. El exceso de finos puede ser detectado al inspeccionar la textura de la mezcla y observar si la mezcla se desplaza bajo el compactador.

- *Vapor Ascendente* — El exceso de humedad aparece, frecuentemente, como vapor ascendente en la mezcla, cuando esta se descarga en la tolva del asfaltador. La mezcla en caliente puede estar burbujeando y reventando como si estuviera hirviendo. Una humedad excesiva también puede causar que la mezcla aparezca y actúe como si tuviera demasiado asfalto.

- *Segregación* — La segregación de agregados puede ocurrir durante la pavimentación debido a un manejo inadecuado de la mezcla. En otros casos, la segregación puede ocurrir antes de que la mezcla llegue a la pavimentadora. En cualquier caso, esta se debe corregir inmediatamente, en el origen de la causa.

- *Contaminación* — Las mezclas se pueden contaminar con sustancias extrañas, incluyendo gasolina, kerosene, aceite, trapos, papel, basura y mugre. La contaminación se puede corregir si no es muy extensa; sin embargo, una carga que ha sido contaminada en su totalidad debe ser rechazada.

- *Exudación* — Aunque es recomendable usar sustancias que no tengan una base de petróleo para rociar las cajas de los camiones, todavía hay agencias que permiten el uso de combustible diesel para este propósito. El exceso de diesel que se acumula en la caja del camión puede ser absorbido por la mezcla. En el pavimento, el diesel diluye el asfalto y causa que este se filtre (exude) hacia la superficie, resultando en lo que se conoce como una "mancha grasienta". Además, en la mezcla, el exceso de diesel puede disolver y drenar el asfalto. Una mezcla en caliente contaminada con diesel deberá ser removida y reemplazada.

6.2.3 CALCULANDO LA PRODUCCIÓN DE LA PAVIMENTADORA.

El peso de la carga se usa para verificar la producción de la Pavimentadora (longitud de sección de pavimento por camionada de mezcla). Para empezar es necesario saber cuanto pesa la mezcla después de compactada. Una vez se obtenga esta información, se puede proceder a determinar si la producción actual esta cerca a la esperada, usando las medidas de la carpeta colocada y unos cálculos simples. Estúdiese el siguiente problema ejemplo.

Problema Ejemplo

Un camión entrega 15 toneladas de mezcla en caliente a la pavimentadora y se esta colocando una carpeta de 3.75 metros de ancho por 4 centímetros de espesor (compactado). La mezcla tiene una densidad in-situ de 2.3 ton/m^3. ¿Qué sección de pavimento (cuantos metros lineales) puede colocar con las 15 toneladas?

Recuerde que existen varias tipos de toneladas:

1 Ton métrica = 2204.612 lb $\approx$ 1000 Kg

1 Ton corta = 2000 lb

1 Ton larga = 2425 lb

Solución

(1) Un metro cúbico de mezcla pesa 2.3 toneladas. Un metro cuadrado de carpeta de 1 centímetro de espesor contiene 23 kilogramos (0.023 toneladas) de mezcla:

$$2.3/100= \quad 0.023 \text{ ton/m}^2 \text{ por centímetro}$$

$$23 \text{ kg/m}^2 \text{ por centímetro}$$

(2) Debido a que la carpeta esta siendo colocada con un ancho de 3.75 metros y 4 centímetros de espesor, el peso de mezcla por metro lineal de pavimentación es:

$$3.75 \times 1 \times 4 \times 23 = 345 \text{ kg.}$$

(3) La cantidad de metros lineales que la pavimentadora puede colocar con las 15 Ton (asumiendo tonelada métrica), se determina dividiendo el peso de la carga (15,000 kg) por el peso de mezcla por metro lineal (345 kg/m)

$$15{,}000/345 = 43.5 \text{ metros lineales}$$

Respuesta

El pavimentador deberá ser capaz de pavimentar **43.5** metros de pavimento con la carga entregada por el camión. Efectuando un cálculo más, encontramos que una tonelada de mezcla pavimentará 2.9 metros.

43.5 m lineales / 15 Ton = 2.9 m lineales/Ton.

Esta información puede ser usada para comparar el peso total acumulado, en los boletos de carga, con la cantidad de metros colocados de pavimento. También puede usarse para determinar la cantidad de mezcla en caliente necesaria para pavimentar una sección dada de carretera. Al finalizar el día, la información puede usarse para calcular cuanta mezcla más se necesita para terminar una longitud dada de carretera y, por lo tanto, saber en que momento la planta debe parar la producción.

6.2.4 PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN.

En el procedimiento de colocación intervienen varios factores como es el espesor de la capa extendida, ancho del carril, entre otros.

6.2.4.1 Ancho de la distribución y control del espesor de la mezcla.

Las capas sucesivas de mezcla no deben ser construidas directamente una sobre otra, sino que deben desplazarse, por lo menos 150 mm (6 pulg), en lados alternos al eje central de la carretera, en una de cuatro carriles. Por ejemplo, en un pavimento de 14.8 metros, de un ancho de 7.4m para dos carriles, la primera capa (carril) se extiende con un ancho de 3.85 m de ancho, la capa superior puede colocarse con un ancho de 3.55 m de ancho, con lo se tendrá un a diferencia de anchura entre capa inferior y superior de 0.15 metros (ver Figura 6.2). Este método previene que se forme un borde vertical continuo a través del pavimento terminado a lo largo de la junta longitudinal, lo que puede facilitar la formación de un posible plano de falla (ver figura 6.3) a lo largo de dicha junta, ya que por medio de ésta puede filtrarse agua y ésta dañar a la vez las capas inferiores como la base, lo que puede ocasionar un daño más grave al pavimento.

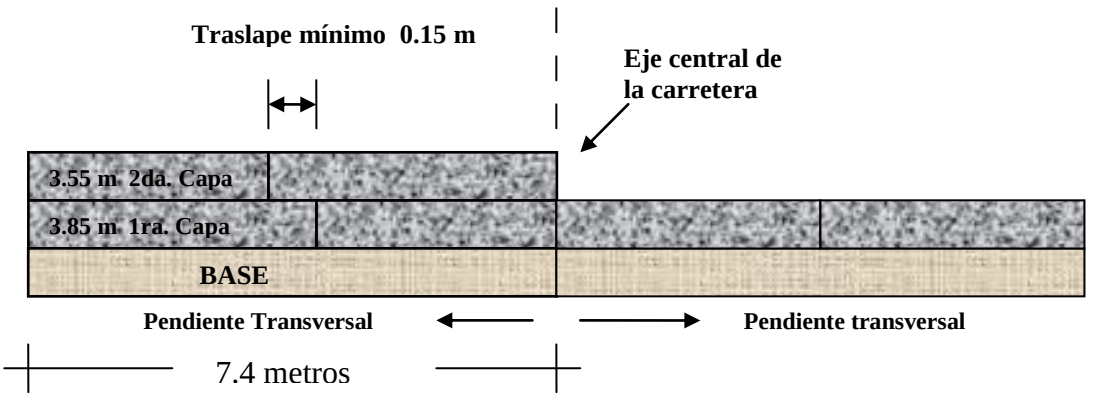


Figura 6.2 **Traslape entre la primera capa y la superior**

La construcción de la junta longitudinal del eje central debe hacerse con un buen procedimiento constructivo para evitar que se forme un plano de falla en el eje central de la carretera. El alineamiento de la carpeta depende de la precisión de la guía usada por el

operador, y de la atención del operador. Esta atención es vital en la construcción de una junta longitudinal aceptable.

Figura 6.3 **Formación de un Plano de Falla a lo largo de la Junta Longitudinal**

Fuente: Longitudinal Joint Construction

En una carretera ancha donde se están colocando carriles múltiples es mejor, generalmente, colocar primero el carril cercano al coronamiento, y después aparear, al lado, el carril contiguo (ver Figura 6.4).

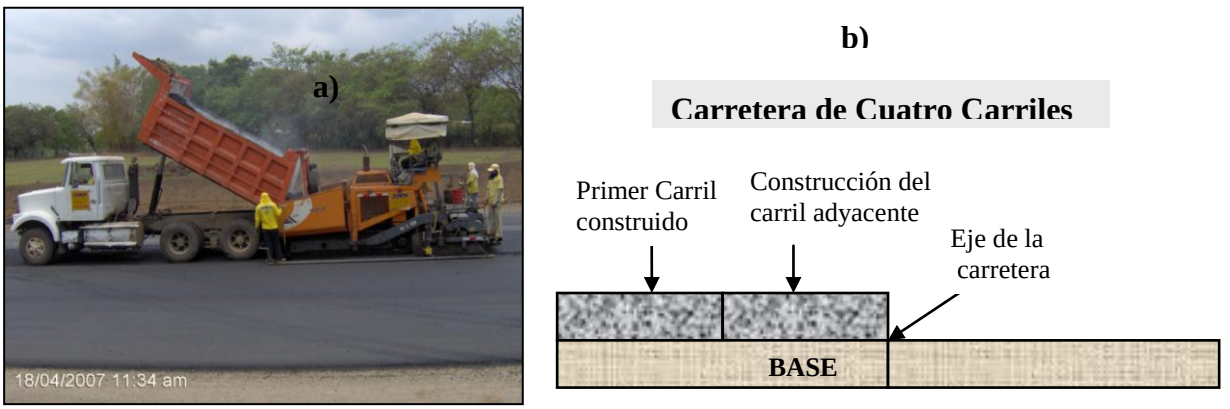


Figura 6. 4 **Orden de Construcción de Carriles**
a) Construcción del segundo carril y
b) Esquema de construcción

Fotografía tomada durante Visita a la construcción del By Pass, Usulutan

Respecto al espesor de la mezcla colocada es fundamental garantizar que se mantenga constante durante todo el proceso de colocación, a lo largo del proyecto. El ajuste ó verificación del espesor durante la operación de colocación dependerá de la calibración del equipo con el que cuenta el asfaltador (ver **Fotografía 6.1**) y debe realizarse cada ves que se va a iniciar la colocación de mezcla en un lugar diferente, cuando el asfaltador es trasladado de lugar de operaciones ó a otro carril.

Fotografía 6.1 **Equipo para Controlar el Espesor de la Mezcla.**

Fotografia tomada "Bay Pass" de Usulutan, Estacionamiento 1 + 20

6.2.4.2 Colocación de mezcla a mano.

Hay áreas, en muchas obras, donde la pavimentación con enrasador no es práctica o no es posible. En estos casos, puede ser permitido distribuir la mezcla a mano. La distribución y la colocación a mano deberán efectuarse con mucho cuidado, y uniformemente, para que no vaya a haber segregación. Cuando se descarga la mezcla en apilamientos, esta debe ser colocada a una distancia suficiente adelante de los paleadores, para que ellos no necesiten mover la pila completa. Además, deberá proporcionarse suficiente espacio para

que los obreros se paren en la base y no en el material mezclado. Si la mezcla asfáltica es arrojada con palas, es casi seguro que habrá segregación de las porciones gruesas y finas de la mezcla. Una mezcla colocada a mano tendrá una apariencia superficial diferente a la que puede tener la misma mezcla colocada con máquina.

El material de las palas deberá depositarse en pequeños montones y deberá distribuirse con rastrillos. En el proceso de distribución, el material deberá desatarse completamente y distribuirse uniformemente. Cualquier material que se haya acumulado en terrones, y no puede desintegrarse fácilmente, deberá desecharse. La superficie deberá revisarse con reglas rectas y plantillas después de que el material ha sido colocado, y antes de ser compactado. Cualquier irregularidad debe ser corregida.

6.2.5 INSPECCIÓN DE LA CAPA COLOCADA ANTES DE LA COMPACTACIÓN.

El ingeniero debe ser capaz de identificar las deficiencias en la carpeta colocada y conocer las posibles causas de esas deficiencias. En algunos casos, el muestreo y los ensayos son el único medio confiable para analizar un problema de la carpeta colocada.
Las siguientes sub-secciones tratan en una forma breve, varias de las partidas importantes en una lista de inspección de mezcla colocada.

6.2.5.1 Temperatura de la mezcla colocada

La temperatura de la mezcla colocada debe ser monitoreada, inmediatamente después de ser colocada, éste control en la temperatura sirve para identificar posibles diferencias perjudiciales de temperatura en la mezcla, además sirve para conocer cuándo ésta ha llegado a la temperatura a la cual debe de iniciar la compactación inicial, la cual deberá estar en el rango de las temperaturas establecidas durante la construcción del tramo de prueba. También del monitoreo de la temperatura se obtiene una idea de cómo están influyendo las condiciones naturales del tiempo (medio ambiente) sobre la mezcla, el viento puede influir en un enfriamiento rápido de la mezcla, humedad, intensidad solar,

temperatura promedio del día y la temperatura de la superficie sobre la cual se extendió la mezcla. La temperatura también deberá revisarse cuando la mezcla parezca fría.

La temperatura de la carpeta se toma al introducir el vástago de un termómetro hasta la mitad de su espesor. La mezcla debe ser apisonada, con el pie, contra el vástago del termómetro (ver **Fotografía 6.2**).

Fotografía 6.2 **Medición de la temperatura en la capa colocada.**

Fotografía tomada "By Pass" de Usulutan, Estacionamiento 1 + 20

6.2.5.2 Apariencia de la superficie del pavimento.

6.2.5.2.1 Textura superficial

La textura de la carpeta deberá ser uniformemente densa, tanto en el sentido transversal como en el sentido longitudinal.

Si se observa una textura abierta, o un desgarre de la mezcla, al comenzar la operación del día, puede deberse a un calentamiento insuficiente del enrasador. Si aparece un desgarre de la mezcla debajo de las extensiones del enrasador, deberá revisarse el alineamiento de la extensión, las barras apisonadoras y los vibradores.

Cuando una inspección de la carpeta revele una segregación de la mezcla, deberá determinarse la causa y deberán efectuarse, inmediatamente, las correcciones necesarias.

- *Desgarre o Rasgado*

El desgarre ocurre con frecuencia en una mezcla que esta demasiado fría, y que aparece abierta y gruesa. El desgarre y el rasgado también ocurren debido a un ajuste inadecuado de un asfaltador equipado con barra apisonadora en la unidad del enrasador.

- *Irregularidades en la Textura*

Una mezcla que contenga demasiada humedad no podrá colocarse correctamente y tendrá la apariencia de una mezcla fría o de una mezcla con demasiado asfalto. Además de presentar un posible desgarre, este tipo de mezcla presentará burbujeo y ampollamiento.

6.2.5.2.2 Lisura de la superficie

La lisura del pavimento se ve afectada desfavorablemente por la falta de uniformidad en las operaciones de pavimentación, las graduaciones incorrectas de agregado, las variaciones de velocidad de la pavimentadora, la operación incorrecta de los camiones, y las prácticas deficientes de construcción de juntas.

- *Falta de Uniformidad*

La interrupción del asfaltador puede causar asperezas en la mezcla colocada. Cada vez que se detiene la pavimentadora, existe la posibilidad de que el enrasador deje una marca en la superficie de la carpeta. Si el enrasador se asienta dentro de la mezcla, el sensor automático actúa como si la pavimentadora estuviera pasando por una depresión. Por consiguiente, el enrasador comienza a colocar una carpeta gruesa cuando la pavimentadora reanuda la marcha. Esto continúa hasta que el sensor se da cuenta del espesor excesivo y entonces disminuye la pendiente del enrasador. Esto crea una depresión hasta que el enrasador se vuelve a nivelar, lo cual ocurre aproximadamente a 9

metros (30 pies) de donde el enrasador se detuvo.

Los pavimentos ásperos también son el resultado de cambios en la cantidad de material depositado en frente del enrasador. El enrasador bajará de nivel si no hay suficiente material en frente; y viceversa.

- *Granulometría Incorrecta de Agregado*

Un exceso de agregado grueso puede resultar en una mezcla áspera, la cual produce una superficie desigual de textura áspera. El exceso de finos en la mezcla puede causar una estabilidad baja, permitiendo que se formen ondulaciones en la superficie.

6.2.5.3 Pendiente de la calzada.

Si el centro de la carpeta presenta una textura abierta, o rasgada, detrás del asfaltador, se deberá colocar más pendiente de avance en el borde delantero del enrasador. Esto forza más mezcla hacia la parte central del enrasador, lo cual cierra la textura. Si el desgarre de la mezcla ocurre en el borde exterior, puede ser que haya demasiada pendiente en el borde de avance, forzando demasiado material hacia el centro y muy poco hacia los bordes. En este caso, se debe reducir ligeramente la pendiente de centro para poder distribuir más material hacia los bordes y así poder producir una carpeta uniforme.

6.2.5.4 Geometría de la vía.

La geometría de una vía se refiere al tamaño y forma física del pavimento terminado, incluyendo la rasante longitudinal, la rasante transversal, el alineamiento, la pendiente y el espesor (ver **Fotografía 6.3**). La revisión de la geometría del pavimento comienza por conocer la sección típica de los planos del pavimento. Todas las mediciones deben ser comparadas con los planos para determinar si el tamaño y la forma del pavimento son, o no, aceptables.

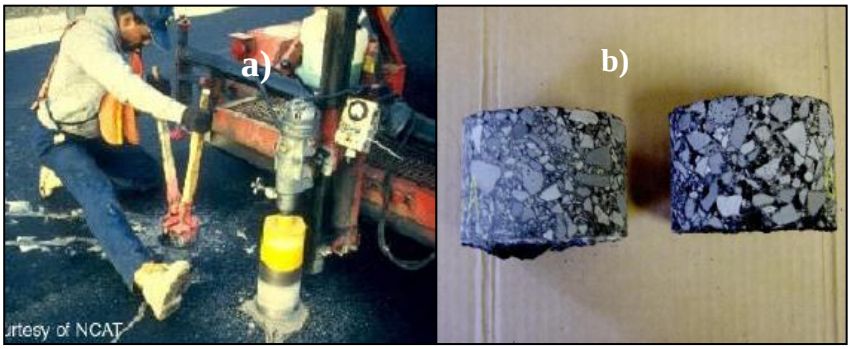
Fotografía 6.3 **Medición del Espesor de la Capa con un Medidor de Profundidad.**

Fotografía tomada durante la construcción del "Bay Pass", Usulutan.

La rasante longitudinal, la rasante transversal, y el alineamiento, pueden revisarse usando líneas de cuerda, reglas rectas, y cinta para medir, así como niveles topográficos; utilizando marcadores de rasante y elevación como puntos de referencia.

El espesor de carpeta asfáltica debe medir antes y después de la compactación para poder determinar la diferencia en espesor debido a la compactación. Antes de la compactación se puede revisar el espesor usando un medidor de profundidad (**Fotografía 6.3**), o extendiendo una regla recta sobre el borde de la carpeta y midiendo la distancia entre la regla y la base.

Después de la compactación, se puede repetir la medición de espesor usando la regla recta. También se pueden extraer núcleos de la mezcla compactada de pavimento (ver **Fotografía 6.4**) para efectuar ensayos y hacer mediciones, generalmente, es mas fácil medir el espesor de la carpeta compactada haciéndolo en un núcleo extraído.



Fotografía 6. 4 **Extracción de Núcleos de la Carpeta terminada**
a) Proceso de extracción, b) Núcleos extraídos.

Fuente: Control de Calidad en Mezclas Compactadas

6.3 COMPACTACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

6.3.1 QUE ES LA COMPACTACIÓN Y QUE DEBE CONOCER EL INGENIERO.

La compactación es el proceso medique consiste en comprimir un volumen determinado de mezcla asfáltica en caliente, en uno más pequeño hasta lograr una densidad óptima. Esto se logra al comprimir las partículas de agregado, revestidas de asfalto, eliminando así la mayoría de los vacíos (espacios) en la mezcla y aumentando la densidad (proporción de peso a volumen) de la misma. Se considera que la compactación ha sido exitosa cuando la carpeta terminada tiene contenidos óptimos de vacíos y de densidad.

La necesidad de compactar un pavimento hasta alcanzar su densidad óptima puede entenderse mejor si se advierten los efectos del agua, el aire, y el tránsito en una mezcla subcompactada. Los vacíos en una mezcla subcompactada tienden a estar interconectados y permiten la penetración de aire y agua a través del pavimento. El aire y el agua contienen oxigeno, el cual oxida al asfalto (Ligante asfáltico) en la mezcla, causando que

esta se vuelva frágil. En consecuencia, el pavimento no podrá resistir las deformaciones repetidas causadas por el tránsito, lo cual conducirá a su falla. Por otro lado, la presencia interna de agua, envejece al asfalto y puede ayudar a que el asfalto se desprenda de los agregados.

El contenido óptimo de vacíos, en una carpeta recién construída, es de 8 por ciento o menos para mezclas densamente graduadas. En este nivel, los vacíos no están, generalmente, interconectados. La Figura 6.5 es una representación gráfica del efecto de los vacíos sobre la durabilidad del pavimento. Cuando el contenido de vacíos es demasiado alto, el pavimento tiende a presentar desmoronamiento y desintegración. Cuando el contenido de vacíos es demasiado bajo, hay peligro que el pavimento presente exudación y se vuelva inestable.

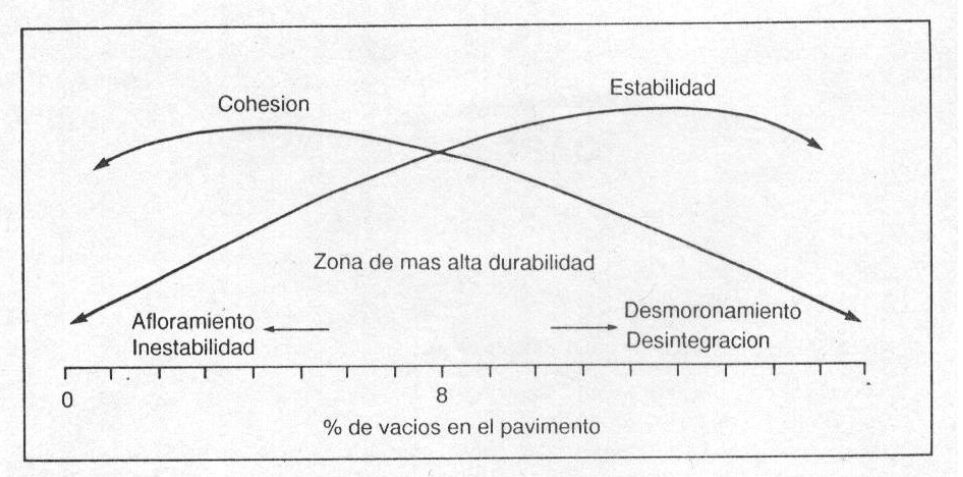


Figura 6. 5 **Durabilidad del Pavimento vrs Contenido de Vacíos**

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, (MS 22)

La compactación logra dos objetivos importantes al comprimir las partículas de agregado. Estos son: resistencia y estabilidad de la mezcla. Adicionalmente, la compactación cierra los espacios a través de los cuales el agua y el aire pueden penetrar y causar un envejecimiento rápido, y desprendimiento. Por lo tanto el ingeniero debe de estar familiarizado con ciertos factores como los siguientes:

- Conocer los fundamentos del proceso de compactación.
- Estar familiarizado con el equipo normal de compactación.
- Conocer el proceso de compactación establecido por el tramo de prueba.
- Conocer los efectos de la segregación de temperatura en una mezcla asfáltica.
- Evitar los gradientes de densidad en las juntas.
- Diferenciar y aplicar los procesos para juntas longitudinales y transversales
- Distinguir las razones por las cuales las operaciones de compactación deben ser ajustadas para compensar las variaciones en las propiedades de la mezcla y en las condiciones ambientales.
- Conocer como se debe garantizar que un pavimento terminado cumpla con los requisitos de textura, rasante, y densidad.

El proceso de compactación parece ser simple y claro, pero en realidad es un procedimiento que requiere de la habilidad y conocimientos del operador de equipo y del ingeniero. Ambos deben tener un entendimiento completo del proceso de compactación que se estableció en la construcción del tramo de prueba, ya que es el procedimiento que el operador realizará y mantendrá durante todo el proyecto, además el operador debe conocer los factores que afectan la compactación de una capa de mezcla asfáltica en caliente.

6.3.2 IMPORTANCIA DE LA COMPACTACIÓN.

La compactación esta dirigida para producir una carpeta con una densidad específica, la cual por lo general es un porcentaje de la densidad de laboratorio. Según la sección 401.14 relacionada a compactación, del manual SIECA; el proceso de compactación será monitoreado con densímetros nucleares calibrados de acuerdo con los resultados de compactación en los tramos de prueba. Se compactará con la meta de obtener densidades en sitio no menores del 92 % y no más del 98 %, respecto a la densidad máxima teórica determinada de acuerdo con AASHTO T 209.

En ocasiones se toman valores de densidad en base a la densidad bulk determinada con

AASHTO T 166; pero expertos en control de calidad de mezcla recomiendan que la mejor opción para establecer un porcentaje de densidad para mezcla compactada en campo, es en base a la densidad teórica máxima, ya que la gravedad específica teórica máxima se mantiene casi constante durante los controles diarios de mezcla que se realizan en una planta asfáltica; mientras que la gravedad específica bulk presenta cambios más significativos, ya que depende de la temperatura de compactación, como es operado el equipo de compactación, vacíos en la mezcla, entre otros factores que pueden influir. Además en dicha sección también menciona que no se permitirá la compactación cuando la temperatura en la mezcla descienda de 100 ºC (para capas asfálticas de espesor inferior a 75 mm) y de 110 ºC (para capas asfálticas de espesor superior o igual a 75 mm); en cuyo caso se deberá retirar del sitio de la obra.

La compactación es la etapa final de las operaciones de pavimentación de mezclas asfálticas en caliente. Es la etapa en la cual se desarrolla la resistencia total de la mezcla y en donde se establecen la lisura y textura de la carpeta.

En consecuencia, es durante el proceso de compactación, que el ingeniero debe de estar sumamente atento, como ya se dijo es la etapa final de un proceso de trabajo complementario el en cual intervienen cuatro etapas: diseño en laboratorio, producción en planta, colocación y por último la compactación.

El ingeniero no puede darse el lujo de descuidar o no aplicar el procedimiento adecuado y correcto de compactación, ya que, si la compactación se realiza mal, no se valora el trabajo de las tres etapas previas a la compactación, una mala compactación tiene serias consecuencias, ya que se llegan a dar opiniones erróneas acerca del desempeño de la carpeta asfáltica como producto terminado, cuando ésta falla prematuramente, fácilmente suelen decir que el diseño no satisface las exigencias (que no es un buen diseño) ó que se produjo mal en la plantas; cuando en realidad la etapa que se hizo mal es la compactación.

El ingeniero, además de mantener registros precisos y detallados y observar la confiabilidad del proceso, debe asegurar que la compactación se efectúe correctamente y que el pavimento terminado cumpla con todas las especificaciones. Para lograr esto, el ingeniero debe conocer todo el procedimiento de compactación que se va aplicar, este se obtiene del tramo de prueba, el cual se explicará más adelante; además, debe de estar familiarizado con el equipo a utilizar.

6.3.3 FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN.

Los factores que afectan la compactación pueden dividirse en tres clases:

- Propiedades de la mezcla.
- Efectos ambientales.
- Espesor de la capa.

6.3.3.1 Propiedades de la mezcla.

Ciertas propiedades del asfalto y el agregado tienen un efecto pronunciado sobre la trabajabilidad de la mezcla, a diferentes temperaturas. Estas propiedades, así como la temperatura de la mezcla en la compactación, deben tenerse en cuenta cuando se selecciona un procedimiento de compactación.

6.3.3.1.1 Agregado

La granulometría, textura superficial y la angulosidad del agregado, son las principales características que afectan la trabajabilidad de la mezcla. A medida que aumenta el tamaño máximo de agregado, o el porcentaje de agregados gruesos en la mezcla, la trabajabilidad disminuye, y por consiguiente se requiere un mayor esfuerzo de compactación para obtener la densidad de referencia. Igualmente, una textura superficial áspera en el agregado, en vez de una textura lisa y vidriosa, resulta en una mezcla más estable y requiere de un mayor esfuerzo de compactación. Las mezclas producidas con grava son, frecuentemente, más trabajables que las producidas con piedra de cantera.

Las arenas naturales son añadidas a las mezclas, con frecuencia, para buscar economía. Una mezcla con demasiada arena, especialmente en los tamaños medianos (alrededor del tamiz de 0.60 mm (No. 30)), puede resultar en una mezcla con alta trabajabilidad pero poca estabilidad. Frecuentemente, estas mezclas son susceptibles a desgarrarse y deformarse bajo el tránsito, aún después de varias semanas de haber sido compactadas.

El contenido de finos o relleno mineral en la mezcla también afectará el proceso de compactación. La combinación de relleno mineral y asfalto proporciona la fuerza adherente en los pavimentos de mezcla en caliente; por consiguiente, la mezcla debe tener suficientes finos para que se combinen con el asfalto y puedan producir la cohesión necesaria cuando la mezcla se enfríe. La adición de relleno mineral ayudará a compensar las propiedades desfavorables de las mezclas que contienen demasiada arena. Por otro lado, si la mezcla contiene demasiados finos, se volverá "gomosa" y será muy difícil de compactar.

6.3.3.1.2 Asfalto

A temperatura ambiente el asfalto es virtualmente sólido, mientras que a temperaturas entre 120 y 150 ºC (250 a 300 ºF) es completamente fluido. Para que una mezcla pueda ser compactada correctamente, el asfalto debe tener suficiente fluidez para permitir que las partículas de agregado se muevan unas respecto a otras. En efecto, el asfalto trabaja como un lubricante durante la compactación. A medida que la mezcla se enfría, el asfalto pierde su fluidez (se vuelve mas viscoso). Es así como a temperaturas por debajo de 85 ºC (185 ºF), el asfalto, en combinación con los finos de la mezcla, comienza a ligar firmemente las partículas de agregado: En consecuencia, la compactación de la mezcla se hace extremadamente difícil cuando se ha enfriado por debajo de 85 ºC.

La viscosidad del asfalto esta determinada por el grado de asfalto usado, y por la temperatura a la cual se produce la mezcla. Un asfalto de alta viscosidad puede requerir una temperatura ligeramente mayor de compactación y/o un mayor esfuerzo de compactación, siempre y cuando todos los demás factores permanezcan constantes.

La trabajabilidad también esta afectada por la cantidad de asfalto en la mezcla. A medida que aumenta el contenido de asfalto, el espesor de la película de asfalto sobre las partículas de agregado también aumenta. Este aumento de espesor de película aumenta, a su vez, el efecto lubricante del asfalto a las temperaturas de compactación, y hasta cierto punto hace que la compactación sea más fácil de efectuar.

6.3.3.1.3 Temperatura de mezclado.

La temperatura a la cual una mezcla asfáltica es producida afecta la facilidad de la compactación y el tiempo que le toma a la mezcla para enfriarse hasta 85 ºC la temperatura mínima a la cual todavía puede haber densificación. Hasta cierto nivel, entre más caliente este la mezcla, más fluido será el asfalto y menos resistente será la mezcla bajo la compactación. El limite superior para la temperatura de la mezcla es de aproximadamente 163 ºC (325 ºF). Temperaturas más altas pueden dañar el asfalto. Estas temperaturas son consideradas por el Instituto del Asfalto.

La densidad de la carpeta compactada es afectada por la segregación de temperatura durante el transporte y la subsiguiente colocación de la mezcla asfáltica. La segregación de temperatura es cuando la mezcla asfáltica presenta porciones de mezcla con diferentes temperaturas, en una mezcla que se compacte bajo estas circunstancias las zonas que

tengan una temperatura menor comparada con la demás mezcla al ser compactas tendrán una menor densidad, lo que influye en la calidad del pavimento, mediante el uso de una cámara infrarroja durante la construcción de una vía en Santiago de Chile, se observa que el diferencial de temperatura en la carpeta de asfalto colocada era significativamente mayor de lo pensado, en la figura 6.6 se pueden apreciar zonas frías (zona negras) y un diferencial de temperatura de 29.65 ºC.

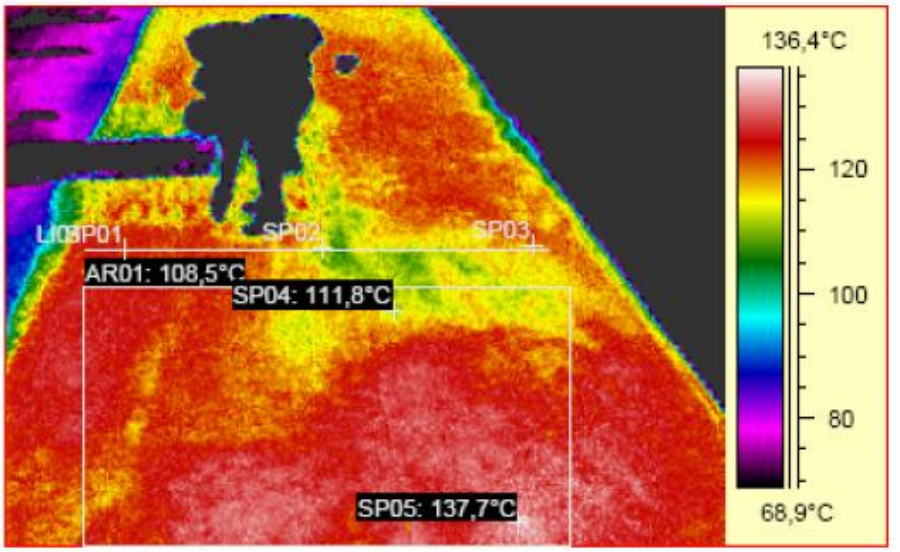


Figura 6. 6 **Segregación de Temperatura en una Mezcla Extendida**

Fuente: Construyendo Pavimentos Asfalticos de Calidad, Ing. Paul Lavaud Aguirre

El Instituto del Asfalto, sugiere que la mejor temperatura para empezar a compactar una mezcla asfáltica, dentro del margen de temperaturas de 163 a 85 ^{0}C (325 a 185 ^{0}F), es la máxima temperatura a la cual la mezcla puede resistir el rodillo sin desplazarse horizontalmente.

6.3.3.2 Efectos ambientales

La velocidad a la cual se enfría la mezcla (Gradiente de temperatura) es afectado por las condiciones ambientales tales como temperaturas bajas, temperaturas altas, humedad alta, vientos fuertes, y la temperatura de la superficie sobre la cual se coloca la mezcla asfáltica; todos éstos factores acortan el tiempo durante el cual se debe efectuar la compactación, haciéndola más difícil, ya que se reduce el tiempo durante el cual se puede y se debe lograr la densidad deseada.

6.3.3.3 Espesor de capa.

En general, es mas fácil lograr la densidad de referencia con capas gruesas de concreto asfáltico que con capas delgadas. Esto se debe a que entre mas gruesa sea la carpeta, mas tiempo demora en enfriarse, y por lo tanto, hay más tiempo para lograr una compactación adecuada. Este hecho puede usarse ventajosamente para colocar capas de mezclas con alta estabilidad que sean difíciles de compactar, o cuando es necesario pavimentar bajo condiciones ambientales que causen enfriamiento rápidos en capas delgadas.

Por otro lado, un aumento en el espesor de la capa permite que las temperatura de la mezcla baje menos, debido a la disminución en la velocidad de enfriamiento.

Durante la colocación de mezclas asfálticas también se debe tener un control en el espesor de capa, ya que pueden ocurrir variaciones (ver figura 6.7) las cuales al ser detectadas deben ser corregidas, para ello se dan las siguiente sugerencias para controlar el espesor.

- No corrija basado en una medida
- Tome una serie de mediciones
- Promedie las mediciones
- Corrija basado en el promedio.

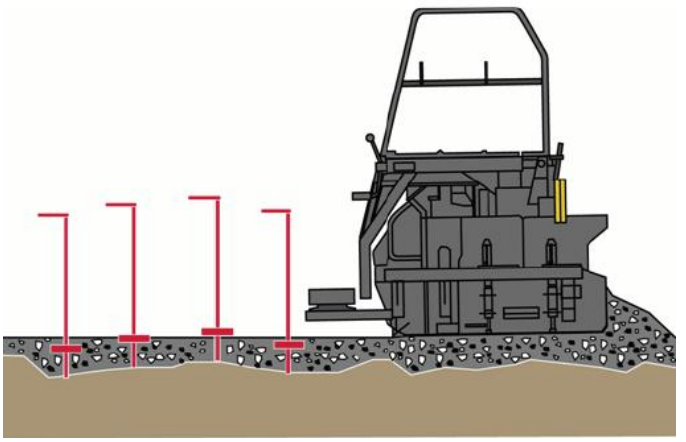


Figura 6.7 **Diferencia en el Espesor de la Mezcla**

Fuente: Best/Worst Construction Practices, Iowa Asphalt Paving

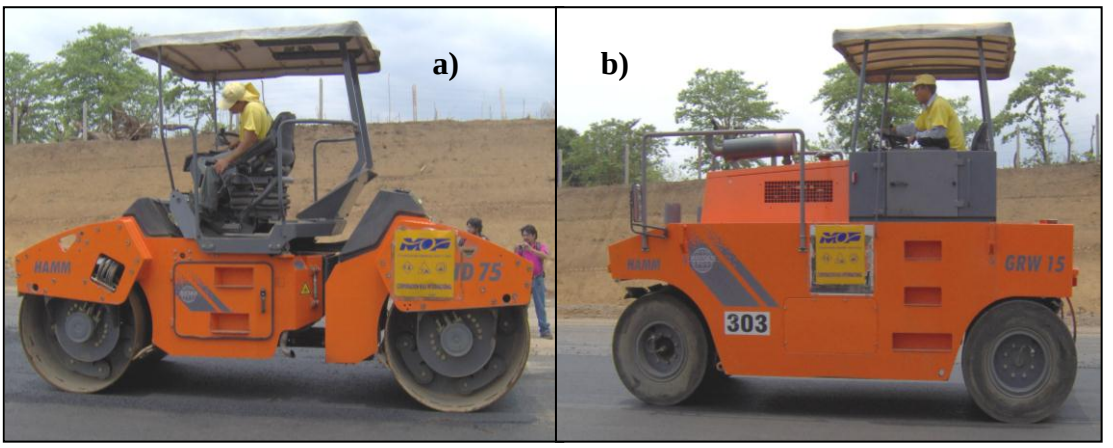
6.3.4 EQUIPO DE COMPACTACIÓN.

Normalmente se requieren compactadoras automotrices para la compactación de mezclas de concreto asfáltico. No se deben usar compactadoras tipo remolque, pero se pueden usar compactadoras de mano en las áreas que sean inaccesibles a las compactadoras grandes. Las compactadoras automotrices típicas abarcan los tres tipos siguientes:

- Tándem de ruedas de acero.
- Vibratoria.
- Ruedas Neumáticas.

Todo tipo de compactadora (**Fotografía 6.5**) debe ser inspeccionada antes de ser usada en la obra para verificar que se encuentre en buena condición mecánica. Cuando sea de importancia, se deben revisar los siguientes detalles:

- Peso total de la compactadora.
- Peso por unidad de ancho (para compactadora de ruedas de acero).
- Esfuerzo promedio de contacto (compactadoras neumáticas).



Fotografía 6. 5

Equipo para Compactación
a) Tánden ruedas de acero, puede ser operado de modo estático o vibratorio y b) Compactador de Ruedas Neumáticas

Fotografía tomada en "Bay Pass", Usulutan, estacionamiento 1 + 20

A continuación se presentan detalles referentes al uso y la inspección de cada uno de los diferentes tipos de compactadoras.

6.3.4.1 Compactadoras tándem de ruedas de acero.

Las compactadoras tándem de ruedas de acero tienen ruedas o rodillos de acero, generalmente montados sobre dos ejes tándem. Típicamente, estas compactadoras varían en peso desde 3 hasta 14 toneladas, y a veces más. Para la construcción de calles, carreteras y pavimentos de tráfico denso se requiere como mínimo un peso bruto de 10 toneladas. Este tipo de compactadoras puede usarse para la primera pasada, la compactación intermedia y la compactación final (últimas pasadas). Para las últimas fases de compactación se requiere un peso bruto mínimo de 8 a 10 toneladas.

El rodillo compactador (rodillo impulsor) de las compactadoras tándem de ruedas de acero debe impartir, como mínimo, 4500 kilogramos por metro lineal de ancho (250 libras por pulgada lineal) cuando es usado en la primera pasada (primera fase), o en la compactación intermedia.

La orientación de la compactadora es crítica, especialmente durante la compactación inicial. La dirección del recorrido de la compactadora debe ser tal que la rueda impulsora pase primero sobre la mezcla sin compactar.

6.3.4.2 Compactadoras vibratorias.

Las compactadoras vibratorias proporcionan la fuerza compactadora mediante una combinación del peso y la vibración de sus rodillos de acero, comúnmente llamados tambores. Las compactadoras usadas para concreto asfáltico son automotrices y varían en peso desde 7 hasta 17 toneladas. Existen dos modelos básicos: las unidades de tambor sencillo (sólo un tambor) y las unidades de tambor doble (como la mostrada en la **Fotografía 6.5a**).

La propulsión de los modelos de tambor sencillo es proporcionada por ruedas de acero o ruedas neumáticas. La propulsión de los modelos de tambor doble es proporcionada,

usualmente, por ambos tambores, aunque existe al menos una clase de compactadora que posee dos ruedas impulsoras de acero situadas entre los dos tambores vibratorios. Los tambores de las compactadoras vibratorias varían en diámetro desde 0.9 hasta 1.5 m (3 a *5* pies), y en ancho desde 1.2 hasta 2.4 m (4 a 8 pies). Sus pesos estáticos, en términos del ancho del tambor, están generalmente entre 29 y 32 kilogramos por centímetro (160 a 180 lb por pulgada) de ancho.

El motor que proporciona la potencia para la propulsión también suministra potencia a la unidad vibratoria. Las vibraciones son generadas por la rotación de un peso excéntrico dentro del tambor. Esta velocidad de rotación determina la frecuencia, o vibraciones por minuto (vpm), del tambor. El peso y la longitud de excentricidad (distancia desde el eje) determinan la amplitud (cantidad) de la fuerza de impacto generada. La frecuencia y la amplitud de las vibraciones están controladas independientemente de la velocidad del motor y del recorrido de la compactadora.

La frecuencia de vibración de los tambores usados para la compactación de concreto asfáltico se encuentra generalmente entre 2000 y 3000 vpm, dependiendo del modelo y el fabricante. Algunos modelos tan solo permiten un ajuste de una o dos frecuencias, mientras que otros permiten un margen de frecuencias (e.g. de 1800 a 2400 vpm).

Las compactadoras vibratorias consiguen la compactación a través de una combinación de tres factores. Estos son:

- Peso
- Fuerzas de impacto (vibración del tambor)
- Respuesta a la vibración en la mezcla

Al utilizar equipo vibratorio se debe tener en cuanta que la energía impartida por la rueda vibratoria debe ser absorbida por la mezcla que esta siendo compactada. El control de la amplitud permite al operador variar la fuerza desarrollada en la rueda, regulando de esta manera la energía impartida. Puede ser necesario ajustar la amplitud cuando hay cambios

en las condiciones de colocación de la mezcla. Por ejemplo, un cambio en el espesor de la capa, en la temperatura de la mezcla, en la graduación de la mezcla, en el contenido de relleno mineral, y en el contenido de asfalto, puede requerir de ajustes en la amplitud usada. Es muy importante que la compactadora este vibrando solamente cuando esta en movimiento. Si las vibraciones continúan cuando la compactadora esta en reposo, o cuando esta cambiando de dirección, entonces cada rueda vibratoria dejará una identificación en el pavimento. La mayoría de las compactadoras modernas tienen un regulador automático para detener la vibración tan pronto los tambores cesan su movimiento.

Generalmente, no se debe usar vibración para compactar sobrecapas delgadas. Esto es particularmente cierto en el caso de mezclas arenosas. En las capas delgadas no hay suficiente material para absorber la energía impartida por los tambores vibratorios. Por consiguiente, esta energía pasa a través de la mezcla que esta siendo compactada, y rebota en la superficie sobre la cual se esta colocando la carpeta. Esto hace que la energía vuelva a entrar en la mezcla y cause que esta pierda compactación. Por lo tanto, en este tipo de situaciones deberá usarse la compactadora vibratoria en el modo estático. Además, la velocidad de la compactadora no deberá exceder **5 km/h (3 mph),** sin importar si se están usando, o no, vibraciones. Esta velocidad es igual a la velocidad máxima recomendada para compactadoras de ruedas de acero y compactadoras de ruedas neumáticas.

Conociendo la influencias del tiempo en la compactación de mezclas, como influyen las características de la mezcla en su compactación y la variedad de equipos que utilizados en la compactación y sus capacidades según los tiene cada empresa, podemos hablar un poco de lo que es la construcción del tramo de prueba.

6.3.4.3 Compactadoras de ruedas neumáticas.

Las compactadoras de ruedas neumáticas tienen ruedas de caucho en vez de ruedas o rodillos de acero. Generalmente poseen dos ejes tándem, con 3 o 4 ruedas en el eje delantero, y 4 o 5 ruedas en el eje trasero (**Fotografía 6.6**).

Las compactadoras de ruedas neumáticas pueden cargar balasto (lastre) para ajustar el peso bruto total. Este balasto, dependiendo del tamaño y el tipo, puede variar entre 10 y 35 toneladas. Sin embargo, más importante que el peso bruto es el peso de cada rueda, el cual debe variar entre 1350 y 1600 kg. (3000 y 3500 lb.) si la compactadora va a ser usada para la primera fase de compactación, o para la compactación intermedia.

Fotografía 6. 6 **Compactadora de Ruedas Neumáticas.**

Fotografía tomada durante compactación en By Pass, Usulutan

Este tipo de compactadora puede estar equipada con ruedas de 380, 430, 510 ó 610 mm (15, 17, 20, o 24 pulgadas) de diámetro. Durante la compactación las ruedas deben tener rodaduras lisas y deben estar infladas con la misma presión, permitiendo una variación máxima de 35 kPa (5 psi), para que puedan aplicar una presión uniforme durante la compactación.

Las compactadoras de ruedas neumáticas pueden ser usadas para dos tipos de compactación: para la primera fase de compactación, la compactación intermedia y para el acondicionado final de la superficie. Los dos procesos son diferentes y requieren de diferentes procedimientos de operación.

Cuando se usan compactadoras de ruedas neumáticas, la mezcla que esta siendo compactada debe estar adecuadamente confinada, como en el caso de las compactadoras de ruedas de acero, para poder obtener una correcta densificación. Además, es muy importante tener una resistencia uniforme en la capa inferior, cuando se usan ruedas neumáticas, debido a que las ruedas individuales pueden ejercer fuerzas grandes sobre pequeñas áreas de poca resistencia - áreas que los tambores anchos de acero rígido tienden a salvar con puente.

Durante la primera pasada, la compactadora de ruedas neumáticas produce muy poco movimiento horizontal de la mezcla en la dirección del recorrido. Esto se debe al hecho de que cada rueda se aplana ligeramente a medida que pasa sobre la mezcla, lo cual permite que casi toda la fuerza de compactación sea aplicada sobre la carpeta en el sentido vertical. El movimiento horizontal de la mezcla en la dirección del recorrido solo ocurre si el diámetro de la rueda es demasiado pequeño, tal que permita que la rueda se hunda dentro de la carpeta. Los hundimientos excesivos indican que la compactadora usada no es adecuada para la primera pasada. Así como en el caso de las compactadoras de ruedas de acero, las ruedas impulsoras de la compactadora neumática deberán ir por delante, en dirección hacia el asfaltador.

Existe un movimiento horizontal de la mezcla debajo de una rueda neumática pero este tiende a ocurrir en ángulos rectos a la dirección del recorrido. Este movimiento puede ocasionar abultamiento pequeño en la mezcla que esta inmediatamente contiguo a la rueda (ver figura 6.8). Estos abultamientos son, generalmente, de poca importancia, y serán eventualmente compactados por las pasadas subsiguientes. De todas maneras, deberá haber suficientes pasadas para eliminar dichos abultamientos, así como también cualquier marca de las ruedas (huellas) que se encuentre sobre la superficie de la carpeta.

Figura 6.8 **Marcas dejadas por una pavimentadora neumática**

Fuente: BEST/WORST CONSTRUCTION PRACTICES, Iowa Asphalt Paving

Por otro lado, el agua no se utiliza en las compactadoras neumáticas debido a que es necesario dejar que las ruedas se calienten lo suficiente para evitar que la mezcla se pegue a ellas durante la primera pasada de compactación y durante la compactación intermedia. De todos modos, la mezcla se pegará a las ruedas durante el periodo de calentamiento, pero esto cesará una vez estas se calienten. Los faldones que se colocan alrededor de las ruedas acortan el periodo de calentamiento y ayudan a mantener calientes las ruedas durante más tiempo, especialmente en las épocas de frío o de viento.

Los requerimientos deseados, en las compactadoras de ruedas neumáticas, para la primera compactación y la compactación intermedia son:

- Un peso de rueda de 1350 a 1600 kg. (3000 a 3500 lb.).
- Un diámetro mínimo de rueda de 510 mm. (20 pulgadas).
- Una presión de rueda de 480 a 520 kPa (70 a 75 psi) cuando la rueda esta fría, y de 620 kPa (90 psi) cuando esta caliente.

Estas presiones de rueda se aplican a casi todos los tipos de mezclas pero pueden ser reducidas, si es necesario, para las mezclas con estabilidades bajas.

Las compactadoras de ruedas neumáticas también son ideales para corregir el cuarteo por

calor en la superficie de la carpeta. Cuando se usa una compactadora de ruedas neumáticas para la compactación de una superficie asfáltica terminada es deseable tener los siguientes requerimientos:

- Un peso mínimo de rueda de 680 kg (1500 lb).
- Un diámetro mínimo de rueda de 380 mm (15 pulgadas).
- Una presión de rueda de 345 a 415 kPa (50 a 60 psi).

6.3.5 CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA.

La construcción del tramo de prueba es muy importante, ya que es mediante el cual se logra establecer el procedimiento que se seguirá en el proyecto para la colocación de la mezcla asfáltica y los respectivos controles que se harán durante dicho proceso, también se logra obtener el procedimiento de compactación completo (fases inicial, intermedia y final) por medio del cual se alcanza la densidad especificada para el proyecto. De dicho proceso se obtienen el número de pasadas que se dará con cada uno de los rodos en las respectivas fases de compactación, ya sean rodos de acero o neumáticos, además se determina en cual fase se utilizará el rodo en modo vibratorio, la temperatura a la que se iniciará la compactación y la temperatura mínima en la cual se puede compactar, los procedimientos para compactar las juntas.

Todo este proceso de colocación y compactación es aceptado por el constructor, supervisor y por el dueño del proyecto, que por lo general suele ser el Gobierno.

El siguiente procedimiento de construcción del tramo de prueba está basado en la sección 401.12 del "Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales" al cual en adelante se le mencionará como manual SIECA:

La longitud del tramo de prueba será de 300 m, aplicando el espesor de capa contratado para el proyecto; se construirá en tres tramos cada uno de 100 m y por cada 100 m se utilizará una temperatura distinta (la diferencia será de 5 ºC), previa consulta con el contratante y contratista se establece la temperatura para el primer tramo y para los dos restantes, ésta temperatura dependerá de la temperatura que la planta producirá la mezcla

según lo establecido por el diseño.

Así por ejemplo el primer tramo se compacta a 125 ºC, el segundo a 130 ºC y el tercero a 135 ºC.

Después de cada pasada del rodo se cuantifica la densidad de la mezcla haciendo un mínimo de 5 mediciones de densidad con el densímetro nuclear, con el fin de determinar el patrón de compactación necesario para lograr la densidad requerida, la densidad es aceptable si todos los resultados de ensayo están dentro del límite de la especificación.

La construcción del tramo de prueba requiere la aplicación de los mismos procesos de producción de mezcla, colocación y compactación que se aplicarán en la ejecución del proyecto. Por medio de la construcción del tramo es que se acepta por completo la calidad de la mezcla asfáltica en caliente, ya que en dicho proceso es que se realiza un chequeo de todos los requisitos y especificaciones de la mezcla. La producción de de la mezcla asfáltica se inicia después que el tramo de prueba es evaluado y aceptado y se ha comprobado que la mezcla asfáltica cumple con todas las especificaciones.

La capa asfáltica debe aplicarse sobre una superficie de apoyo seca, sin congelamiento, cuando la temperatura del aire en la sombra esté al menos sobre 4 ºC y con tendencia a aumentar, la **Tabla 6.1** contempla temperaturas de colocación según el espesor de la mezcla a colocar.

Tabla 6. 1 **Temperatura de Colocación de Mezcla Asfáltica.**

Espesor de Capa Compactada	**< 50 mm**	**50-75 mm**	**> 75 mm**
Temperatura de la superficie de la vía ºC	Temperatura Mínima de Colocación[(1)] ºC		
10 – 14.9	146	138	132
15 – 19.9	141	135	129
20 – 24.9	138	132	129
25 – 29.9	132	129	127
≥ 30	129	127	124

[(1)] En ningún caso, la mezcla asfáltica podrá ser calentada a una temperatura superior a la especificada en el diseño de la mezcla aprobada

Fuente: "Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales" , SIECA

A continuación se mencionan una serie aspectos a considerar y que son de ayuda al establecer el patrón de compactación en el tramo de prueba:

1) Antes de establecer un tramo de prueba se debe tomar una decisión respecto a la manera como se van a operar los siguientes aspectos de la compactadora:
   a. Velocidad
   b. Patrón de recorrido para el ancho de la pavimentación
   c. Número de pasadas
   d. Selección de la zona de operación de la compactadora detrás de la pavimentadora.

2) Si el tramo de prueba no cumple con las especificaciones, se debe efectuar una serie nueva de tramo de prueba. Para esto se recomienda el siguiente procedimiento:
   a. Disminuya la velocidad de la compactadora.
   b. Tome una medida de densidad con el densímetro nuclear después de cada pasada, o recorrido de ida y vuelta, hasta que el calibrador indique una densidad adecuada (dentro de las especificaciones).

   c. Trate una velocidad mayor usando el mismo número de pasadas. Utilice el densímetro nuclear para ver si todavía se consigue una densidad adecuada, y si es así, continúe aumentando la velocidad, con el mismo número de pasadas, hasta que la densidad sea inadecuada (no cumpla con las especificaciones). Después disminuya la velocidad hasta el punto donde se obtenga la máxima velocidad que cumple con las especificaciones de densidad en el menor número de pasadas.

   d. La velocidad correcta de compactación es, siempre, un balance entre la compactación rápida para conseguir productividad, y la compactación necesaria para cumplir con las especificaciones de densidad y terminado. Por lo tanto, si la velocidad escogida conduce a una densidad adecuada, pero deja defectos en la superficie, entonces se debe reducir la velocidad hasta que desaparezcan los defectos.

3) El patrón de compactación establecido en el tramo de prueba deberá ser el mismo patrón que se utilizará en todo el proyecto.
   - Nunca use un patrón más lento que aquel seleccionado para la obra.
   - Nunca use mas pasadas que aquellas seleccionadas para la obra. De otra manera, encontrara que el compactador tendrá problemas en mantener el ritmo del asfaltador.

4) Es muy importante reconocer el hecho de que todas las técnicas de operación están regidas por el comportamiento de la mezcla durante el proceso de compactación. Este comportamiento varía de obra en obra y de capa en capa. Por lo tanto, las normas no son absolutas, y tan solo deben ser consideradas como una guía.

6.3.6 PROCEDIMIENTOS DE COMPACTACIÓN.

El grado de densidad de una mezcla asfáltica en caliente depende de la cantidad de esfuerzo de compactación que se logre aplicar antes de que la mezcla se enfríe, el proceso ó patrón de compactación se determina con la construcción del tramo de prueba (ver **Sección 6.3.5**), y es de dicho proceso del cual se determina la temperatura a la cual se debe iniciar la compactación, es en el tramo de prueba que se establece el número exacto de pasadas y tipo de equipo para cada fase de compactación que se requieren para lograr alcanzar la densidad estipulada en las especificaciones del proyecto que se trate. Cada proyecto tendrá su formula para lograr la densidad especificada, esto depende de los equipos, procedimientos que realice cada empresa, tipo de mezcla que se compactará, el espesor y las condiciones ambientales influyen directamente para poder establecer la temperatura de inicio de compactación y la temperatura mínima a la cual todavía de puede lograr una densificación; dicho procedimiento de compactación y temperaturas son aprobadas y aceptadas tanto por el contratista, supervisión y contratante al construir el

tramo de prueba, y son las que se usan durante la construcción de todo el proyecto. El Instituto del Asfalto sugiere que la mínima temperatura a la cual todavía se puede lograr una densificación es 85 ºC (185 ºF).

Se debe planear y usar un patrón de compactación que proporcione el cubrimiento mas uniforme posible en el carril que esta siendo pavimentado. Debido a que las compactadoras son producidas con diferentes anchos, es imposible diseñar un patrón que pueda aplicarse a todos los equipos de compactación. Por esta razón, el mejor patrón, para un tipo dado de compactadora, se obtiene del tramo de prueba. La **Figura 6.9** es un esquema de un patrón correcto de compactación a seguir.

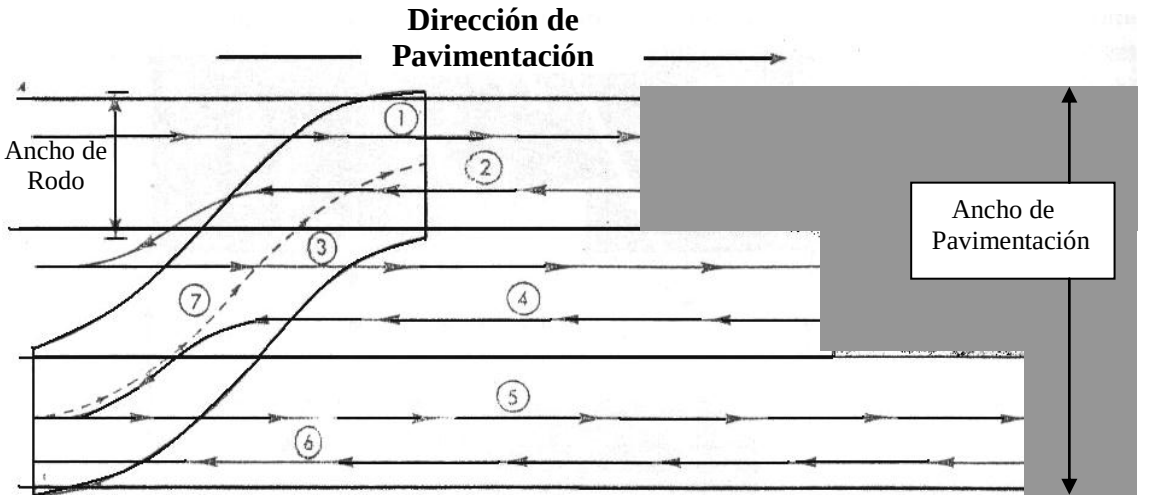


Figura 6. 9 **Patrón de Compactación a Seguir.**

Fuente: ASPHALT TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION, INSTRUCTOR`S GUIDE, (ES – 1)

De la **Figura 6.9** se observa que el ancho de pavimentación es de 12 pies y el ancho del rodo es de 4.5 pies. La compactadora avanza en la senda exterior (1) con la rueda propulsora primero y regresa en la misma (2) senda. El movimiento de la compactadora para la siguiente senda se combinan para moverse en la dirección de pavimentación (3) y traslapar la primera senda aproximadamente 9 pulgadas, la compactadora avanza

más allá del final de la primera senda, los bordes creados por el cambio de dirección no deben coincidir. La compactadora retorna a la izquierda (4), después de seguir exactamente el mismo paso previo (3). Después de moverse hacia el carril interior, la compactadora procede con la dirección de pavimentación (5), el traslape en la segunda senda compactada es aproximadamente de 9 pulgadas, y continua hasta más allá del final de las primeras dos sendas compactadas y regresa (6) en la misma senda. Esto completa una cobertura o pasada. Luego La compactadora se mueve para la senda externa de la pavimentación (7) en el material de menor temperatura y repite el procedimiento.

6.3.6.1 Secuencia de las operaciones de compactación.

Como se mencionó anteriormente, existen tres tipos de operaciones de compactación.
Estas son:

- Compactación inicial - Primera pasada de la compactadora sobre la carpeta recién colocada.
- Compactación intermedia - Todas las pasadas siguientes de la compactadora para obtener la densidad requerida antes de que la mezcla se enfríe por debajo de 85 ºC (1 85 ºF).
- Compactación final - La compactación efectuada solamente para mejorar la superficie mientras la mezcla todavía esta lo suficiente caliente para permitir la eliminación de cualquier marca de la compactadora.

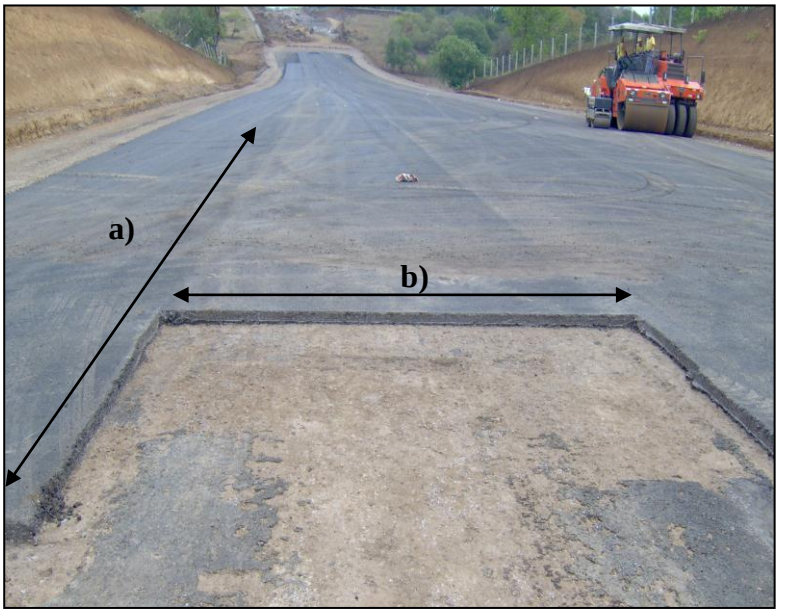
Las dos primeras operaciones (inicial e intermedia) deben seguir una secuencia determinada para garantizar que en la carpeta se obtenga la densidad especificada de proyecto, forma, y lisura deseada. La secuencia dicta que partes de la carpeta deben ser compactadas primero y cuales al final, está secuencia por supuesto se obtiene de la construcción del tramo de prueba. Además, la secuencia es diferente para capas delgadas que para capas gruesas y para cada proyecto dependerá de los equipos con los que cuente cada empresa y de los procedimientos establecidos en el tramo de prueba, así como

también el número de pasadas en cada etapa de compactación.

6.3.6.2 Procedimientos específicos de compactación

6.3.6.2.1 Juntas

En todo proceso de compactación se forman juntas en los pavimentos, las cuales son uniones entre carpetas adyacentes. Su compactación requiere mucho cuidado, ya que son zonas de la capa de rodadura en las cuales se facilita la formación de planos de falla, pueden presenta bajas densidades o bordes en las uniones. Existen dos tipos de juntas de pavimento: juntas transversales y juntas longitudinales, ver **Fotografía 6.7**.



Fotografía 6. 7 **Tipos de Juntas**
a) Junta longitudinal,
b) Junta Transversal

Fotografía tomada en "By Pass", Usulutan.

6.3.6.2.1.1 Juntas transversales.

Una junta transversal ocurre en cualquier sitio donde el asfaltador cesa de operar y luego reanuda la marcha después de cierto tiempo. Una junta transversal mal construida aparece como un abultamiento pronunciado en el pavimento. En consecuencia, el

ingeniero debe estar siempre atento en la construcción de la junta transversal, para asegurar que se haga correctamente. Los errores de construcción en las juntas transversales solamente pueden corregirse mientras la mezcla todavía esta caliente y manejable. No se pueden dejar pasar horas sin hacer algo, debido a que si la mezcla se enfría, se debe cortar y reemplazar la junta para hacer cualquier corrección.

Las juntas transversales son construidas por dos circunstancias: (1) cuando se termina el primer carril o ancho de pavimento al concluir el trabajo, y (2) cuando se están reanudando las operaciones de pavimentación después de cierto tiempo.

Terminando un carril

La carpeta de pavimento debe ser cortada verticalmente, cuando terminan las operaciones de pavimentación al final del día, para que otra capa completa pueda ser colocada, en ángulo recto, contra la carpeta. Este requisito puede cumplirse usando el siguiente procedimiento:

(1) La pavimentadora se pone en el engranaje de baja velocidad cuando esta colocando la última carga del día, y a medida que se acerca al lugar de la junta propuesta.
(2) La pavimentadora se detiene cuando la cantidad de material en la cámara del enrasador disminuye por debajo del nivel normal de operación, a medida que la tolva es vaciada.
(3) El enrasador es elevado y luego la pavimentadora es retirada.
(4) La mezcla asfáltica en caliente es luego paleada fuera del extremo de la carpeta para dejar un borde vertical limpio.
(5) Un tablón, o papel grueso de envolver, se coloca a lo largo del borde.
(6) El material que fue paleado, en el paso (4), se vuelve a colocar para formar una pendiente protectora.

Reanudación de las Operaciones de Pavimentación

El procedimiento siguiente debe ser usado para formar una junta transversal adecuada cuando la pavimentación se vaya a reanudar:

(1) El material que forma parte del ahusamiento o pendiente es removido junto con el tablón o papel.

(2) Una regla recta es usada para revisar la rasante longitudinal de la carpeta. Es posible que los últimos metros de carpeta muestren un adelgazamiento debido a que el asfaltador estaba escaso de material en estos últimos metros. Si este es el caso, se debe cortar un borde transversal nuevo justo detrás de donde comienza a adelgazarse la carpeta.

(3) Se aplica material de liga a la cara vertical del borde (junta) de la carpeta.

(4) Se retrocede la pavimentadora hasta el borde de la carpeta y se deja descansar el enrasador sobre la misma.

(5) El enrasador es calentado mientras descansa sobre la carpeta. Esto también proporciona algo de calor al material del borde de la carpeta.

(6) El enrasador caliente se eleva y luego se colocan planchas de relleno debajo de sus extremos. Estas planchas deben ser tan gruesas como la diferencia entre la carpeta sin compactar y la carpeta compactada.

(7) El camión con la primera carga de mezcla es retrocedido cuidadosamente hasta la tolva. Es importante, durante la descarga de la mezcla, que el camión no golpee la pavimentadora, haciendo que esta se mueva.

(8) La pavimentadora comienza hacia adelante en marcha lenta.

(9) Una vez la pavimentadora se ha movido lo suficiente, se procede a limpiar el exceso de mezcla caliente de la superficie de la carpeta, y se revisa el emparejamiento de la junta usando una regla recta.

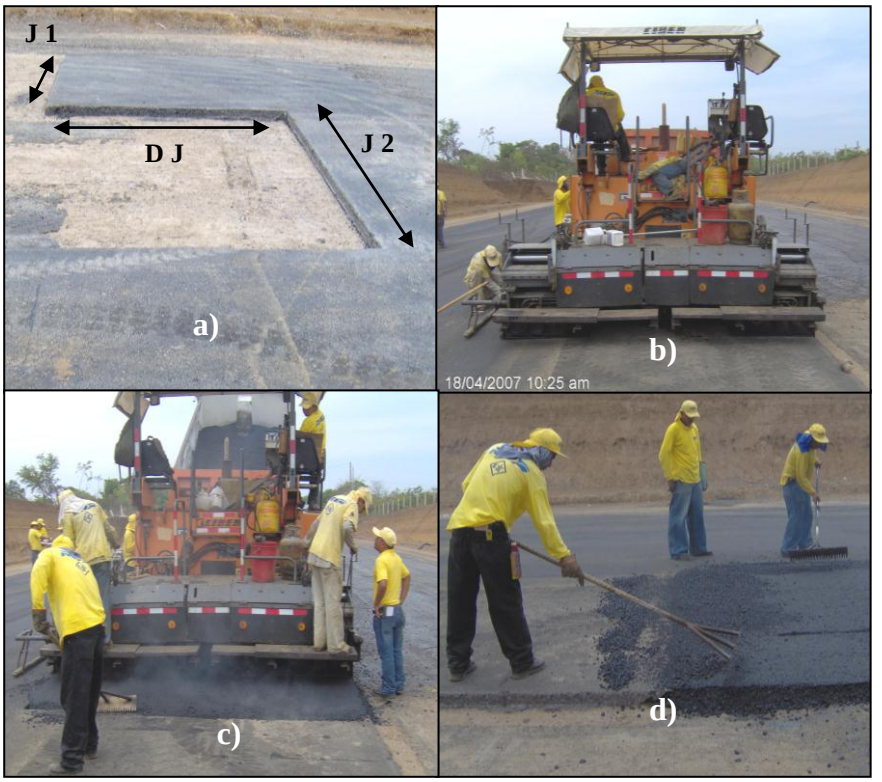
(10) Si la junta es adecuada, se rodilla transversalmente un ancho de 150 mm de mezcla, y luego se revisa la lisura de la junta. Si la lisura es satisfactoria, se procede a compactar transversalmente en incrementos de un ancho de 150 a 300 mm, hasta que el ancho completo de la compactadora se encuentre sobre la

mezcla nueva. Si la regla recta revela una desigualdad en la junta, se deberá escarificar la superficie de la carpeta nueva mientras está todavía caliente y manejable. Es preferible efectuar esta escarificación usando un rastrillo de púas. Luego, el material sobrante puede ser removido, o puede añadirse material adicional si es el caso, para después compactar la junta. Durante la compactación se deberán colocar tirantes a lo largo de los extremos de la carpeta para prevenir que el rodillo aplanador dañe los bordes longitudinales.

Preparación y Compactación de Juntas Transversales

La construcción de una junta transversal según en manual SIECA, en su sección 401.15, relacionado a juntas; establece que las juntas transversales con pavimentos existentes y capas previamente colocadas, las juntas serán verticales (**Fotografía 6.8a**), las cuales se construirán mediante cortes verticales, de manera que se abarque el espesor total de capa; luego, se aplicará un riego de adherencia en los bordes de la junta, para dicho riego se utilizarán los materiales estipulados en los documentos contractuales; después se procede a colocar la pavimentadora en su lugar y dar inicia a la operación de pavimentación, la junta transversal es preparada para la compactación retirando todo el material grueso de la mezcla (**Fotografía 6.8d**), dejando sólo el fino.

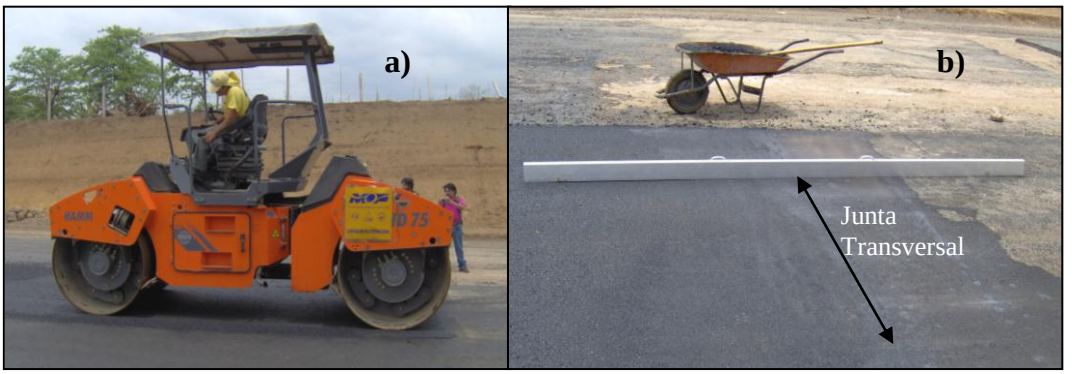
Cuando la junta transversal es construida al lado de una carril contiguo, la primera pasada se hace con una compactadora estática de ruedas de acero a lo largo de la junta longitudinal (**Fotografía 6.9a**), sobre unos cuantos metros. Luego la superficie es nivelada con un escantillón (**Fotografía 6.9b**) y si es necesario, se efectúan las correcciones del caso. A continuación, la junta es compactada en el sentido transversal (**Figura 6.10**) con todo el ancho de la rueda sobre el material previamente colocado y compactado excepto unos 150 mm. Esta operación se repite con pasadas consecutivas, cada una cubriendo unos 150 a 200 mm adicionales de carpeta nueva, hasta que todo el ancho de la rueda impulsora se encuentre sobre la mezcla nueva.



Fotografía 6. 8

Proceso de Preparación de Junta Transversal.
a) Corte vertical de junta, b) Colocación del asfaltador en el lugar de la junta, c) Inicio de operación y d) Rastrilleo de la junta.

Fotografías tomadas durante proceso constructivo en "By Pass", Usulutan



Fotografía 6. 9

Compactación de Junta Transversal
a) Compactación en el sentido de la junta longitudinal
b) Verificación del nivel de la junta con un escantillón.

Fotografías tomadas en visita durante la construcción al "By Pass", Usulutan

Durante la compactación transversal se deberán colocar tablones de espesor adecuado en el borde del pavimento, para proporcionar a la compactadora una superficie sobre la cual pueda rodar una vez que sobrepase el borde de la carpeta. Si no se usan tablones, la compactación transversal deberá detenerse unos 150 a 200 mm antes del borde exterior para evitar dañarlo. En este caso el borde deberá ser compactado luego durante la compactación longitudinal.

La **Fotografía 6.8** sirve para ilustrar los procedimientos de compactación de una junta transversal, además se puede observar de la fotografía 6.8a dos juntas transversales cercanas (J1 y J2), un aspecto muy importante en la construcción de dichas juntas es que dos juntas transversales, de dos carriles adyacentes, no se pueden dejar que coincidan, ya que facilitarían la formación de un plano de falla transversal en el pavimento; para evitar esto, se recomienda traslaparlas con una distancia mínima (DJ) de 1.5 m; para el proyecto que se visito los encargados de la construcción y supervisión acordaron dejar una distancia horizontal de traslape de 3 metros.

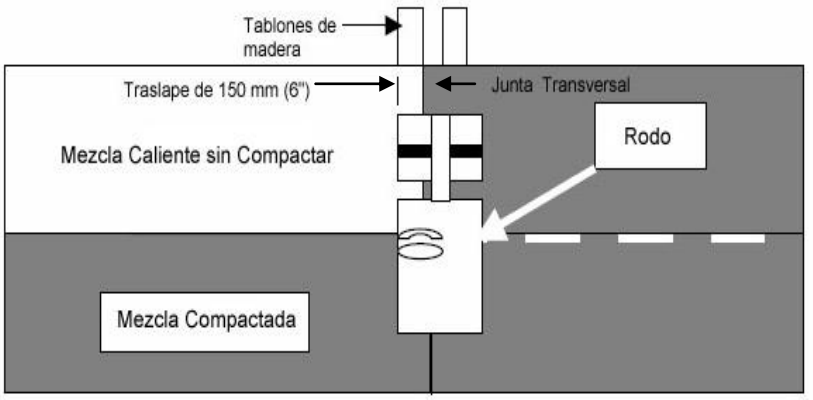


Figura 6.10 **Compactación en el Sentido Transversal.**

Fuente: LES JOINTS TRANSVERSAUX DES REVÊTEMENTS BITUMINEUX

6.3.6.2.1.2 Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales ocurren dondequiera que se coloquen carpetas, una al lado de otra. Las juntas longitudinales, para propósitos de compactación, pueden clasificarse en dos categorías: calientes y frías. Cada una de ellas requiere de un procedimiento de compactación diferente.

- Juntas Calientes

Las juntas calientes son aquellas formadas por dos pavimentadoras trabajando en escalón. El enrasador de la pavimentadora de atrás esta ajustado para traslapar, de 25 a 50 mm, la carpeta de la pavimentadora que va adelante. Este método produce la mejor junta longitudinal porque ambos carriles están casi a la misma temperatura cuando son compactados. El material se vuelve una sola masa bajo la compactadora y hay muy poca diferencia en densidad entre los dos carriles. Cuando se pavimenta en escalón, la primera pasada de la compactadora que va detrás de la pavimentadora delantera deja 75 a 150 mm de borde común, o junta, sin compactar. Esta junta común es luego compactada por la compactadora que sigue a la segunda pavimentadora, en su primera pasada. Para lograr este objetivo en una manera efectiva, el segundo asfaltador, y la compactadora que lo sigue, deberán estar tan cerca como sea posible de la pavimentadora delantera para asegurar una densidad uniforme a través de la junta. La compactadora que sigue al segundo asfaltador compacta la junta en su primera pasada.

Las ventajas de una junta caliente consisten en que las dos carpetas terminan, automáticamente con el mismo espesor; la densidad a ambos lados de la junta es uniforme (los dos lados son compactados al mismo tiempo); y que las carpetas calientes forman una adherencia más fuerte. La desventaja es que el tránsito no puede pasar por ninguno de los dos carriles por un tiempo determinado.

- *Juntas Frías*

Una junta fría es aquella entre dos carriles, uno de los cuales se ha dejado enfriar de un día para otro, o más, antes de colocar el carril contiguo. Debido a la diferencia de temperatura entre los dos carriles, casi siempre resulta una diferencia en densidad entre

los dos lados de la junta, sin importar la técnica de compactación usada, se deben tener ciertas precauciones para garantizar una junta de buena calidad, lo que implica buena adherencia entre las capas y evitar en lo posible diferencia de densidad en los lados de la junta.

La compactación longitudinal casi nunca produce una densidad uniforme en ambos lados de la junta. En la mayoría de los casos hay una zona de baja densidad en la junta en el primer carril colocado, y una zona de alta densidad en la junta en el carril de empalme. La única solución práctica para este problema parece estar en la pavimentación en escalón o en la pavimentación de ancho integral (total). La pavimentación en escalón permite que la junta sea compactada mientras la mezcla asfáltica todavía esta caliente a ambos lados. En realidad, la mayoría de la pavimentación se hace en carriles individuales. En este caso es recomendable compactar la junta tan pronto como sea posible. En cualquier caso, las juntas longitudinales deberán compactarse directamente detrás del asfaltador.

El enrasador de la pavimentadora deberá estar ajustado para superponer, de 25 a 38 mm, la primera carpeta. La elevación del enrasador sobre la superficie de la primera carpeta deberá ser igual a la cantidad de asentamiento (compactación) esperada en la colocación de la carpeta nueva.

El agregado grueso en el material que traslapa la junta fría debe ser cuidadosamente removido con un rastrillo y desechado, esto deja solamente la porción fina de la mezcla, la cual será comprimida enérgicamente, cuando la junta sea compactada.

Preparación y Compactación de Juntas Longitudinales

Existen dos factores claves, relacionados con la construcción del primer carril, que afectan la durabilidad a largo plazo de la junta longitudinal. El primero es la importancia que tiene el que el asfaltador se mueva en línea recta, sin ondulaciones, de manera que la junta pueda ser correctamente cubierta durante la construcción del segundo carril (franja

paralela). El segundo factor se refiere a la necesidad de compactar suficientemente el borde no confinado del primer carril.

Se recomienda el que el operador del asfaltador, durante el extendió del primer carril, sea guiado por una línea recta señalada (demarcada) sobre el área a pavimentar.

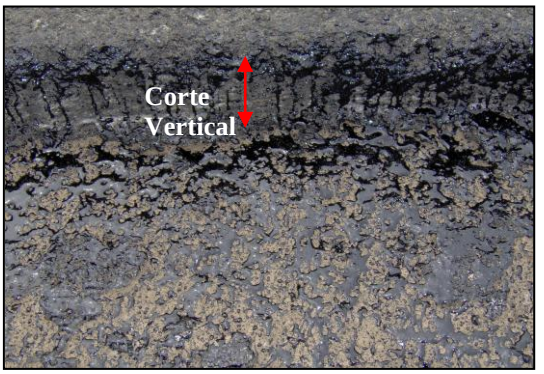
La compactación del borde no confinado de la primera franja es también muy importante. Si no se alcanza el suficiente nivel de densidad en la primera franja, la junta seguramente se deteriorará bajo el tránsito. Por lo tanto, es importante que el equipo de compactación efectué el mismo número de pasadas sobre los bordes y el resto del ancho del carril (franja). Los bordes de los tambores de las compactadoras vibratorias o estáticas deben sobresalir al menos 15 cm más allá del borde del carril. Esta práctica asegurará el que el esfuerzo de compactación sea aplicado en dirección vertical sobre el borde sin confinar, y reducirá así cualquier tendencia de la mezcla a desplazarse hacia los lados durante su compactación.

En ningún momento debe permitirse que los bordes de los tambores (vibratorios o estáticos) de las compactadoras se desplacen exactamente sobre el borde, o a algunos centímetros hacía el interior del carril. En cualquiera de estas dos posiciones, la mezcla puede desplazarse lateralmente ante el movimiento hacia delante de las compactadoras, particularmente si la mezcla es “blanda”. Si la mezcla se desplaza, se obtendrá una densidad menor que la requerida a lo largo de la junta, cuando se extienda el segundo carril, por otra parte, también se formarán cavidades a lo largo de estas juntas.
A continuación se mencionan otros factores no menos importantes en la construcción de juntas longitudinales.

Corte de la junta longitudinal

En algunos casos, antes de que se construya la junta longitudinal entre dos franjas adyacentes de un pavimento, se corta el borde del primer carril que fue extendido y

compactado. Este corte se hace en un ancho entre 50 y 150 mm (por diversos procedimientos). El propósito de este corte es el de remover cualquier porción de la mezcla a lo largo de la junta longitudinal que pueda haber resultado con una densidad menor que la especificada, debido a falta de confinamiento lateral del borde durante el proceso de compactación. En el caso de que se corte la junta longitudinal, debe aplicarse un riego de adherencia (este es según las especificaciones) (ver fotografía 6.10) sobre el área cortada, justamente antes de que se coloque el segundo carril. Este proceso logra una cara vertical a lo largo de la junta. Esta práctica generalmente permite obtener una mayor densidad en el área adyacente a la junta, en el segundo carril.



Fotografía 6. 10 **Junta Longitudinal Cortada Verticalmente y Con Riego de Liga**

Fotografía tomada en By Pass, Usulutan

Traslape de la junta longitudinal.

Uno de los factores claves en la construcción de una buena junta longitudinal recae sobre el ancho del traslape entre el nuevo y el carril previamente colocado. El traslape típico debe estar entre 25 y 38 mm (1 a 1.5 pulgadas) tal como se puede apreciar en la **Figura 6.11**. Este ancho de traslape permite que haya solo la suficiente y adecuada cantidad de material sobre la junta, en forma tal que se pueda alcanzar la compactación

requerida, sin que se tenga un exceso de mezcla que deba ser empujada hacia la nueva mezcla por medio de un rastrillo. Sin embargo, el rastrilleo de la junta normalmente permite lograr mayores compactaciones en la junta. El Hot-mix Asphalt Paving Handbook 2000, recomienda que la altura de la nueva mezcla, adjunta a la mezcla ya previamente compactada, debe ser de 6 mm por cada 25 mm de espesor de la capa compactada, que prácticamente viene siendo un cuarto del espesor de la capa compactada.

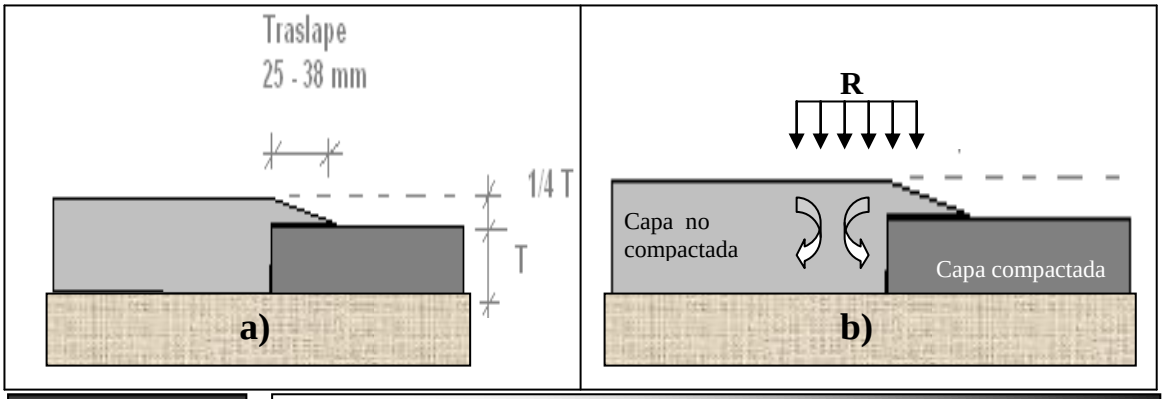


Figura 6. 11

Traslape de Mezcla en Construcción de Junta Longitudinal .
a) Traslape de la mezcla caliente sobre la capa compactada,
b) Efecto de confinamiento de mezcla caliente

De la figura 6.11b se puede apreciar que la fuerza de compactación ejercida por el peso del rodo (R) sobre la mezcla caliente en la compactación de la junta longitudinal tiene dos efectos, el primero, es el efecto de aplastamiento de la mezcla en el sentido vertical; y el segundo, es que la mezcla sufre pequeños desplazamientos laterales (indicado por las flechas); debido a la presión que ejerce el rodo en la mezcla caliente ésta tiende a traslaparse de alguna manera con la pared vertical de la junta. El efecto de confinamiento que sufre la mezcla caliente al ser compactada es por lo que a este lado de la junta longitudinal muchas veces tiende a ser mayor la densidad de la capa compactada que en la capa previamente compactada que se encontraba en un borde libre cuando fue

compactada, a esta diferencia de densidad que puede darse a los lados de una junta longitudinal es lo que se le conoce como gradiente de densidad.

Rastrilleo de las juntas

Algunos consideran que un rastrillero debe "montar" la junta, empujando la mezcla afuera de la primera franja y hacia la nueva mezcla (ver **Fotografía 6.11**), directamente sobre la junta, dejando así un pequeño abultamiento de mezcla para que sea compactado por el equipo de compactación. Sin embargo, si se deja mucha cantidad de la nueva mezcla sobre la junta, la compactadora tenderá a levantarse sobre el abultamiento, y no entrará en contacto con la mezcla adyacente, la cual también tiene necesidad de ser compactada.

Fotografía 6. 11 **Rastrillado de la Junta longitudinal**

Fotografía tomada en By Pass, Usulutan

Procedimiento de compactación de juntas Longitudinales

El procedimiento de compactación puede variar de acuerdo al tipo de de compactador que se utilice (rodos de acero ó neumáticos) y el modo en que se utilice para el caso de las compactadores de rodos de acero que puede ser estático ó vibratorio.

Cuando se usan compactadoras estáticas de ruedas de acero, o compactadoras neumáticas, para compactar juntas longitudinales, se permite que solamente de 100 a 150 mm del ancho de la rueda recorran la carpeta nueva en la primer pasada. La mayor parte del ancho deberá rodar sobre el lado de junta previamente compactado. En cada pasada subsiguiente se aumenta el ancho de rueda permitido sobre la carpeta recién colocada, hasta que todo el ancho se encuentre sobre la mezcla nueva.

En el caso de compactadoras vibratorias se usa un procedimiento diferente. Los tambores compactadores solamente traslapan de 100 a 150 mm (como se muestra en la figura 6.12) sobre el carril previamente compactado (primer carril). El resto del ancho se encuentra sobre la mezcla recién colocada (segundo carril). El compactador continúa moviéndose a lo largo de esta línea hasta que se obtenga una junta completamente compactada.

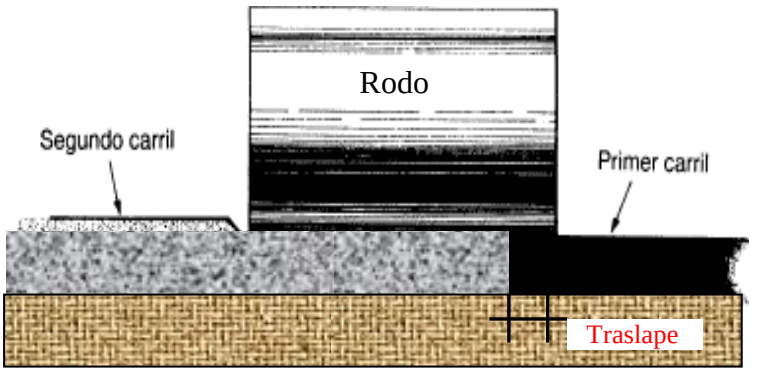


Figura 6. 12 **Compactación de Junta Longitudinal Usando una Compactadora Vibratoria.**

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica, MS - 22

La compactación de una junta longitudinal es muy importante y se deben controlar las densidades a ambos lados de la junta, para que no se tenga un gradiente de densidad, que es cuando la densidad próxima a la junta por el lado del primer carril que se compacto es menor que la densidad próxima a la junta que presenta el segunda carril compactado. Esto se da cuando se compacta el primer carril y el borde interno (donde estará la junta)

no es compactado correctamente, por lo tanto no se alcanza la densidad especificada; mientras que cuando se coloca el segundo carril, como se deja una altura mayor de mezcla adyacente en la junta, cuando dicha mezcla es compactada se da un efecto de confinamiento logrando ya que la mezcla no puede desplazarse y se adhiere y se entrelaza más fuertemente a la pared vertical de la junta, provocándose de esta forma una mayor densidad en la mezcla que se compacta caliente.

Otro factor a considerar en la construcción de juntas longitudinales es que no se debe permitir que las juntas longitudinales de dos capas de pavimentos coincidan (ver **Figura 6.13**), ya que se facilita la formación de posibles planos de falla, tal como se muestra en la figura 6.3 de la sección 6.1.6.2, lo que ocasiona que los pavimentos fallen prematuramente; también no es recomendable construir juntas longitudinales en la línea de los ejes de los camiones ya que éstos por cu carga ocasionarían que la junta falle, ver figura 6.14.

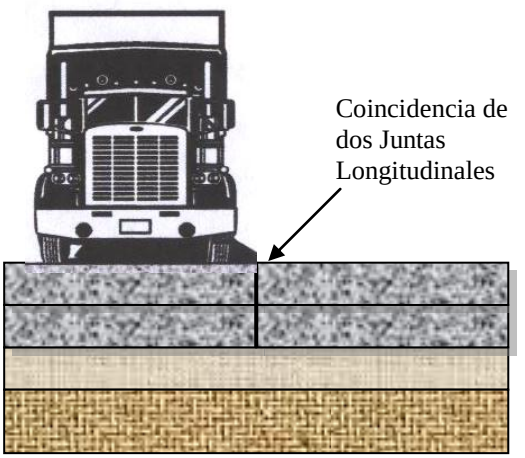


Figura 6. 13 **Coincidencia de Juntas Longitudinales en dos Capas Sucesivas Ocasiona Plano de Falla.**

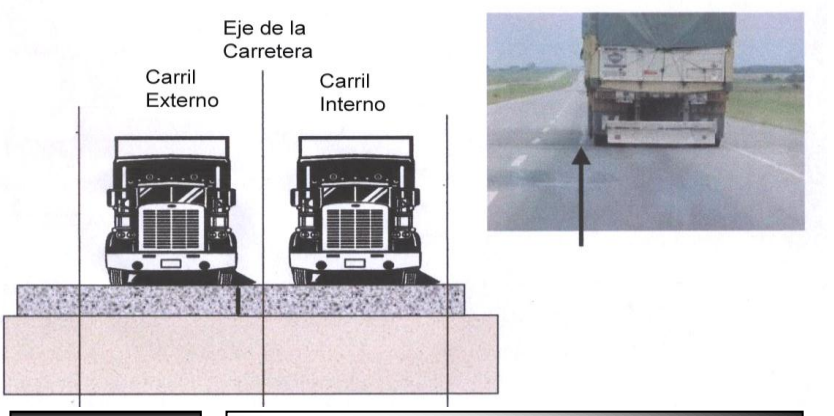


Figura 6. 14 **Junta Longitudinal Bajo los Ejes de Camiones**

Fuente: DETERIORO EN CAPAS ASFALTICAS: FISURACIONES. CAUSAS Y SOLUCIONES

6.3.6.2.2 Capas delgadas

Adopte la siguiente secuencia cuando este compactando una capa delgada (espesor compactado menor que 100 mm (4 pulgadas)) en anchos de un solo carril o en anchos completos:

(1) Juntas transversales.
(2) Borde exterior.
(3) Compactación inicial o primera pasada, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.
(4) Compactación intermedia, usando el mismo procedimiento del numeral (3).
(5) Compactación final.

Cuando este pavimentando en escalón, o empalmando un carril previamente colocado (como en la fotografía 6.12) ó cualquier otra barrera, compacte la mezcla en la siguiente secuencia:

(1) Juntas transversales.
(2) Juntas longitudinales.

(3) Borde exterior.

(4) Compactación inicial o primera pasada, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.

(5) Compactación intermedia, usando el mismo procedimiento del numeral (4).

(6) Compactación final.

Fotografía 6. 12 **Colocación de un Segundo Carril Empalmando con uno Previamente Compactado.**

Fotografía tomada durante la construcción del "By Pass", Usulutan

6.3.6.2.3 Capas gruesas

Adopte la siguiente secuencia cuando este compactando una capa gruesa (espesor compactado mayor que 100 mm (4 pulgadas)) en anchos de un solo carril o en anchos completos:

(1) Juntas transversales.

(2) Compactación inicial o primera pasada, comenzando a una distancia de 300 a 380 mm (12 a 15 pulgadas) del borde bajo sin soportar, y progresando hacia el otro borde.

(3) Borde exterior. La compactadora deberá avanzar hacia el borde exterior no confinado

en incrementos de 100 mm (aproximadamente) en pasadas consecutivas, cuando se encuentre a 300 mm, o menos, del borde.

(4) Compactación intermedia, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.

(5) Compactación final.

Cuando este pavimentando en escalón, o empalmando un carril previamente colocado o cualquier otra barrera, compacte la mezcla en la siguiente secuencia:

(1) Juntas transversales.

(2) Juntas longitudinales.

(3) Compactación inicial o primera pasada, comenzando en la junta longitudinal y progresando hacia el borde exterior.

(4) Borde exterior. La compactadora deberá avanzar hacia el borde exterior no confinado en incrementos de 100 mm (aproximadamente) en pasadas consecutivas, cuando se encuentre a 300 mm, o menos, del borde.

(5) Compactación intermedia, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto.

(6) Compactación final.

6.3.6.2.4 Compactación de bordes

Los bordes del pavimento deberán compactarse al tiempo con la junta longitudinal, excepto en el caso de la pavimentación en escalón o la pavimentación de capa gruesa. Al compactar los bordes, las ruedas de la compactadora deberán extenderse de 50 a 100 mm mas allá del borde, con tal que el desplazamiento lateral de la mezcla no sea excesivo.

Después de haber compactado las juntas longitudinales y los bordes, se deberá proceder a la compactación inicial (primera pasada).

6.3.6.2.5 Compactación inicial.

Esta compactación puede efectuarse con compactadoras estáticas, o vibratorias de ruedas de acero, según se establezca durante la construcción del tramo de prueba, el número de pasadas y el patrón a seguir de dicha compactación.

Es importante comenzar la operación de compactación en la parte baja de la carpeta (usualmente la parte exterior del carril que esta siendo pavimentado), avanzando hacia la parte alta. La razón es que las mezclas calientes tienden a migrar hacia la parte baja de la carpeta durante la compactación. Esta migración de mezcla es más pronunciada cuando se comienza a compactar el lado alto de la carpeta. Cuando se colocan carriles contiguos, se debe seguir el mismo procedimiento pero solamente después de haber compactado la junta longitudinal.

6.3.6.2.6 Compactación intermedia

La compactación intermedia debe seguir a la compactación inicial tan pronto como sea posible, con un número específico de pasadas, mientras la mezcla asfáltica todavía se encuentra muy por encima de la temperatura mínima que se estableció en el tramo de prueba, a la cual todavía se logra densificación.

La compactación intermedia debe ser continua hasta que toda la mezcla colocada haya sido completamente compactada. El patrón de compactación deberá desarrollarse de la misma manera que para la compactación inicial, sin importar el tipo de compactadora usada, este patrón fue establecido en el tramo de prueba y no puede alterarse de ninguna manera.

6.3.6.2.7 Compactación final

La compactación final se efectúa solamente para mejorar la superficie de la carpeta. Esta compactación generalmente suele hacerse con una compactadora de ruedas neumáticas, mientras el material todavía esta lo suficiente caliente para permitir la eliminación de marcas o huellas causadas por las compactadoras.

6.3.6.2.8 Compactación de áreas inaccesibles.

Cuando la mezcla asfáltica se ha distribuido en áreas inaccesibles a las compactadoras, la compactación puede hacerse usando compactadoras de mano de placas vibratorias. Las placas de estas compactadoras tienen, generalmente, un área entre 0.1 y 0.3 m^2.

6.3.7 CONTROL DE LA MEZCLA EN OBRA Y DE SU COMPACTACIÓN

Durante la construcción de un pavimento es necesario establecer Planes de Control de Calidad para garantizar un producto satisfactorio; el término de control de calidad encierra un proceso muy grande el cual involucra a muchos sectores de una empresa constructora incluyendo por supuesto el personal, a continuación se hace mención de los conceptos más importantes con dicha actividad.

Control de calidad

Son métodos y actividades establecidas para alcanzar un determinado fin y cuyo objetivo es cumplir, verificar y actuar para consumar y mantener requisitos, que son necesarios para producir con una calidad determinada; además dichos métodos permiten establecer límites de aceptación para materiales, actividades, procesos y resultados.

Como resultado podemos mencionar que Control de la Calidad:

- ➥ Son métodos y actividades establecidos por la empresa.
- ➥ Surge a partir de requisitos impuestos por la calidad de lo que se debe producir.
- ➥ Debe de mantener, cumplir y efectuar dichos requisitos.
- ➥ Permite establecer límites de aceptación para materiales, procesos y resultados.

Pero el término de control de calidad es bastante completo y requiere de un Aseguramiento de la Calidad, el cual se comprende como: conjunto de actividades sistemáticas que planean, organizan, dirigen y controlan la calidad y que se aplican en un sistema de la calidad, para verificar y asegurar el buen desarrollo; proporcionando de esta manera la confianza, que el producto brindado, cumple con las normas y especificaciones requeridas por el cliente.

Podemos citar que Aseguramiento de la Calidad:

- Es un Conjunto de actividades que planean, organizan, dirigen y controlan la calidad.
- Se aplica a un sistema.
- Debe verificar y asegurar el cumplimiento de los métodos de control de la calidad.
- Debe proporcionar la confianza que el producto o servicio cumple con las normas y especificaciones requeridas por el cliente.

El aseguramiento de la calidad es un concepto mucho mas amplio que el control de la calidad, ya que el primero es el encargado de establecer, planificar y observar la aplicación de los métodos y procedimientos de control de la calidad, mientras que el segundo solo se limita al empleo (operación) de dichos métodos y procedimientos..

Basándonos en los puntos anteriores, podemos decir que **Gestión de la Calidad**:
Es un aspecto de la función general de la administración, que pretende implantar la política de la calidad, siendo responsabilidad de la alta gerencia su establecimiento y aplicación a todos y cada uno de los niveles de la empresa y cuyo resultado se espera mejore todos los aspectos de la organización, finalizando en la satisfacción del cliente.
De dicho concepto podemos resumir a Gestión de la calidad

- Como un aspecto de la función general de la administración.
- Como responsabilidad de la gerencia, su establecimiento y aplicación.
- Su objetivo es implantar la política de la calidad.
- Su implementación necesita de la cooperación de todos los niveles de la organización, desde la alta gerencia hasta el nivel operativo de todas las áreas.
- Debe mejorar todos los aspectos de una empresa, organización, etc., cumpliendo con ciertos requisitos, normas y especificaciones y finalizando en la satisfacción del cliente.

Se puede definir “Plan de Control de la Calidad” de una obra como la base, guía y referencia para la sistematización de dicho control. En este sentido, un plan de control debe definir los procesos, procedimientos, además de las acciones y actividades a realizar para cumplir con el control que se ha propuesto, esto enunciado en una serie de controles razonados y justificados, tanto en tipología como en cantidad, y de esta manera garantizar el nivel de control perseguido.

El control de la calidad debe ser ejecutado por todo el personal involucrado en la construcción de un pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y su realización no debe ser limitada solamente a un grupo o persona especifica, generalmente denominado grupo de control de la calidad o Ingeniero de control de la calidad, respectivamente.

ESPECIFICACIONES Y NORMAS TECNICAS

Términos tales como especificaciones y normas son conceptos frecuentemente utilizados en el ámbito de la ingeniería civil; su importancia es fundamental para la ejecución y desarrollo de las actividades en una obra de construcción. La definición de estos términos se presenta a continuación:

Especificaciones: Es “la expresión aplicada a aquellas reglas, disposiciones y requisitos, relativos a la ejecución de la obra.”

Las especificaciones son documentos tanto contractuales como fijados al momento de la ejecución de la obra, muy importantes en las obras de Ingeniería Civil, en las que se explican y mencionan aspectos (contractuales, de procesos, productos y materiales) que son parte de un proyecto; además, expresan valores de tolerancia para ciertos materiales y productos relacionados con la construcción.

Norma: Es una “regla que determina y establece las condiciones de realización de una operación y la forma como se debe efectuar”.

Las normas son procedimientos específicos y estandarizados; que se utilizan para la realización de ciertas pruebas y ensayos de control de la calidad.

En la actualidad las especificaciones y normas son las bases para la realización de una parte del proceso de control de la calidad en la construcción llegando a formar parte importante del mismo. Además, no se debe olvidar que los valores proporcionados por estas solo indican parámetros esperados, no proporcionan la verdad absoluta; razón por la cual, solamente deben de interpretarse como una guía de comparación.

El Plan de Control de la Calidad será un conjunto de actividades destinadas a verificar la calidad del producto terminado y en base a los resultados obtenidos, aceptarlo o rechazarlo. La inspección de los trabajos, el muestreo y las pruebas de laboratorio son procedimientos de control de calidad, destinados a hacer cumplir las especificaciones técnicas.

En lo que se refiere específicamente a control de calidad durante la colocación y compactación de mezclas asfálticas en caliente se deben realizar una serie de ensayos para verificar que la mezcla que llega al proyecto cumpla con las especificaciones de diseño, verificar la densidad de la mezcla compactada, especificaciones y otros criterios (requisitos) de aceptación; los cuales son establecidos para cada proyecto en particular.

Los criterios de aceptación por ser más extensos, sólo se mencionarán brevemente en la sección 6.3.8. ya que su estudio se sale del contexto de nuestra investigación. Este documento contempla el control de la mezcla en campo para verificar si cumple los criterios de diseño según el Método Marshall.

El control de la mezcla inicia obteniendo una muestra representativa según AASHTO T 168 (Ensayo No. 28), para luego ser llevada al laboratorio y realizar los ensayos de:

- Estabilidad y flujo (Ensayo No. 22)
- Gravedad específica bulk (Ensayo No. 24)
- Gravedad específica teórica máxima (Ensayo No. 23)
- Extracción de asfalto (Ensayo No. 25)
- Comprobación granulométrica (Ensayo No. 26)

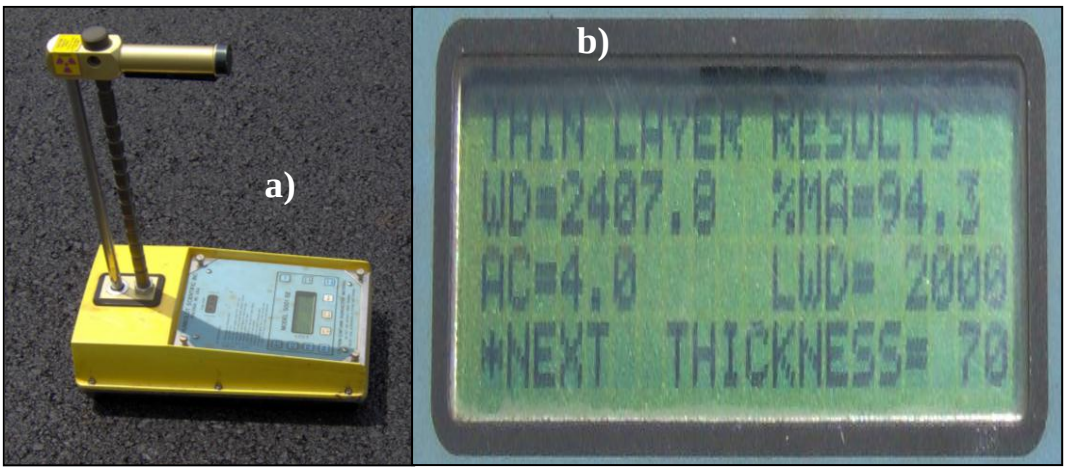
Con los primeros tres se realiza el análisis de vacíos, los cuales deben estar dentro de las especificaciones del método de diseño (ver **Tabla 4.7** del Capítulo IV); extracción de asfalto, la tolerancia permisible es de ± 0.5 % respecto al valor de cemento asfáltico dosificado durante la producción de la mezcla en planta; la granulométrica del agregado extraído debe estar dentro de los rangos de la especificación granulométrica establecida en la fórmula de trabajo de cada diseño de mezcla asfáltica en particular. Para nuestro diseño es la de la **Tabla 4.55** del capítulo IV.

La densidad de la carpeta compactada en campo se puede verificar de dos formas:

a) Mediante un método no destructivo es utilizando un densímetro nuclear (ver **Fotografía 6.13**), el plan de control de calidad indicará los lugares y el número de densidades a obtener.

b) Método destructivo, obteniendo núcleos de la carpeta compactada en campo de acuerdo a la norma AASHTO T 230 (Ensayo No. 29), con dicho núcleo se pueden realizar según lo especifiquen los documentos contractuales, la gravedad específica bulk, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo; además se verifica el espesor de la capa de concreto asfáltico midiendo la altura del núcleo extraído, el cual debe de estar conforme a lo especificado.

La densidad de campo es un porcentaje de la densidad de laboratorio, establecida durante el diseño y el porcentaje depende según especificación de proyecto.



Fotografía 6.13

Chequeo de Densidad en Mezcla Compactada en Campo
a) Densímetro nuclear
b) Lectura del densímetro (muestra que se cumple un 94.3% de la densidad máxima de 2407.8 Kg/m^3, superando el 92% mínimo requerido)

Fotografía tomada en en By Pass Usulutan

Todos los valores de ensayos obtenidos de la muestra de campo ó núcleo y densidad de campo son comparados con las especificaciones del Método Marshall, establecidos durante el diseño de la mezcla (ver **Tabla 6.2**) y la especificación granulométrica establecida en el diseño (ver **Tabla 6.3**) son aceptados si cumplen con la especificación del Método de Diseño y las especificaciones del proyecto. Así Por ejemplo, las especificaciones dan una tolerancia de ± 0.5% en el valor obtenido del ligante asfáltico extraído, por lo tanto si en el diseño se estableció que el contenido optimo de cemento asfáltico para producir una mezcla es de 5.79 %, todo valor que este entre 5.79 ± 0.5%, esto es entre 5.29 a 6.29 será aceptado.

Tabla 6.2 **Parámetros Marshall y Valores Obtenidos con el Porcentaje de Cemento Asfáltico de 5.79 %**

Parámetro	Especificación del Método	Valor obtenido en una bachada Con (5.79 % C.A)
Flujo (mm)	2 - 4	2.67
Estabilidad (Kg)	816 mín.	1,863
Gravedad bulk		2.328
Teórica Máxima		2.445
% Vacíos	3 - 5	4.8
% VMA	14.0 mín.	16.40
% VFA	65 - 75	70.82
% Asfalto	Tolerancia ± 0.5% diseño 5.79 % Rango: 5.29 – 6.29%	5.9
Polvo/Asfalto	0.6 – 1.3	1.20

Tabla 6.3 **Especificación Granulométrica y Valores de una Comprobación de Granulometría**

Tamices		Especificación Tipo "E" SIECA	Valores Obtenidos de una bachada con 5.79% de C.A
3/4"	19.00 mm	100	100
1/2"	12.50 mm	97 – 100	100
3/8"	9.50 mm	84 – 94	89
No. 4	4.75 mm	50 – 62	58
No. 8	2.36 mm	35 – 47	41
No. 30	0.60 mm	20 – 28	22
No. 50	0.30 mm	14 – 20	14
No. 200	0.075 mm	5.5 – 9.5	7.1

6.3.8 REQUISITOS DE APROBACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL PAVIMENTO.

6.3.8.1 Requisitos de aprobación

La calidad de un pavimento terminado depende de que tan exitoso se realizó el proceso constructivo en su totalidad y por su puesto de la compactación de la carpeta de rodadura. Generalmente se usan tres criterios para juzgar la aprobación de una carpeta asfáltica terminada. Estos son: Rugosidad superficial del pavimento, tolerancia de la superficie y densidad, entre otros. Es la responsabilidad del ingeniero de asegurar que cada criterio sea cumplido. A continuación se describen los parámetros contemplados en el manual SIECA para la aprobación y aceptación de un pavimento.

6.3.8.1.1 Rugosidad superficial del pavimento.

Después de la compactación final, se medirá el nivel de rugosidad en la carpeta de rodadura, o en la capa de apoyo para una capa asfáltica friccionante de graduación gruesa. El Indice de Regularidad Internacional (IRI) será el parámetro que se usará para determinar la rugosidad del pavimento. El Contratante establecerá los requisitos de IRI para el proyecto.

El IRI es una medida estándar de la regularidad superficial de una carretera y está relacionado con el confort del usuario al transitar en el pavimento, se determina mediante la acumulación de desplazamientos verticales, en un perfil longitudinal, dividido entre la distancia recorrida; se expresa en mm/m o m/Km. La regularidad es la diferencia entre un perfil longitudinal teórico y uno real.

Se define como sub-lote a una sección de 0.1 km medida en el sentido del tránsito. Se define como lote a la totalidad de sub-lotes que integran un proyecto.
Aquellos sub-lotes que no cumplan con los requisitos de aceptación fijados por el contratante deberán ser reemplazados por el contratista.

6.3.8.1.2 Deflexiones medidas en la superficie del pavimento.

Para la aceptación de los trabajos de pavimentación, con mezcla asfáltica procesada en caliente y cemento asfáltico no modificado, se aplicarán los requisitos de deflexión máxima definidos por el Contratante. La deflexión será medida bajo el punto de aplicación de una carga correspondiente a un eje simple equivalente de 8200 kg y será determinada por medio de la viga Benkelman o el deflectómetro de impacto, según sea establecido por el Contratante.

Aquellos sub-lotes que no cumplan con los requisitos de aceptación fijados por el Contratante deberán ser reconstruidos por el contratista.

6.3.8.1.3 Deformación permanente.

Para capas asfálticas donde las cargas de diseño superen los tres millones de ejes equivalentes simples de 8200 kg, el contratante definirá una metodología para la aceptación de la dosificación de diseño, de acuerdo con un criterio de deformación permanente. La metodología de aceptación se aplicará también al monitoreo del cumplimiento del criterio de deformación permanente en la producción de mezcla asfáltica.

6.3.8.1.4 Fatiga.

Para capas asfálticas en las cuales cargas de diseño superen los tres millones de ejes equivalentes simples de 8200 kg, el Contratante definirá también una metodología para la aceptación de la dosificación de diseño de acuerdo con un criterio de fatiga, como lo hará para el monitoreo del cumplimiento del criterio de fatiga en la producción de mezcla asfáltica.

6.3.8.2 Aceptación.

(a) Contenido de asfalto. Los límites de tolerancia, a partir de la dosificación de diseño aprobada, serán de ± 0.5 %.

(b) Granulometría del agregado. Los límites de tolerancia en una mezcla producida a partir de la dosificación de diseño, serán según la especificación granulométrica que se utilice ó establezca durante el diseño.

(c) Densidad en sitio. El manual SIECA hace mención específica y establece que la densidad de campo tendrá una tolerancia entre 92 % y de 98 % de la densidad máxima determinada a partir de AASHTO T 209. En ambos casos se usará, como referencia para el cálculo del porcentaje de densificación, la densidad obtenida de un muestreo aleatorio, y de la producción de mezcla asfáltica correspondiente a la producción evaluada.

(d) Rugosidad superficial del pavimento. La evaluación para pago deberá realizarse luego de la corrección de todos los defectos identificados. Los criterios de aceptación en función de la calidad para la rugosidad superficial serán definidos por el contratante para cada proyecto particular.

(e) Deflexiones medidas en la superficie del pavimento. La evaluación para pago se realizará luego de la corrección de todos los defectos identificados. Los criterios de aceptación en función de la calidad para deflexión será definidos por el contratante para cada proyecto particular.

(f) Deformación permanente. Este concepto se aplica a la mezcla asfáltica que se colocará en capas diseñadas para una vida útil sobre tres millones de ejes equivalentes.

(g) Fatiga. El concepto aplica a mezcla asfáltica que se coloque en capas diseñadas para una vida útil sobre tres millones de ejes equivalentes. La categoría de pago en función de la calidad para fatiga será definida de acuerdo con el criterio establecido por el contratante para cada proyecto en particular.

En la **Tabla 6.4** se presenta una hoja de ejemplo, para mezcla asfáltica, las cuales se contemplan dentro de los Documentos Aprobados de los Requisitos Contractuales (DARC), que utilizan el Ministerio de Obras Públicas, en el control de la calidad que ellos realizan en los proyectos viales.

Tabla 6.4 Ejemplo de hoja de Documentos DARC

<table>
<tr><td colspan="4">DOCUMENTO DE APROBACION DE REQUISITOS CONTRACTUALES (DARC)</td></tr>
<tr><td>No. Correlativo:
18</td><td>Fecha de Entrega:
21/03/06</td><td>Recibió:
Ing.Julio Rodríguez</td><td>Se solicita resolución para fecha:24/03/06</td></tr>
<tr><td colspan="3">PROYECTO: AMPLIACIÓN DE LA AVENIDA BERNAL, ENTRE CALLE SISIMILES Y CALLE CAMAGUEY</td><td>No. De contrato:

CO-073/2005</td></tr>
<tr><td colspan="2">Constructor:
MULTIPAV, S.A. de C.V.</td><td colspan="2">Supervisor:
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS</td></tr>
<tr><td colspan="4">Partida: Aglomerado Asfáltico</td></tr>
<tr><td colspan="4">Especificación: Sección 401, Mezcla de Concreto Asfáltico Procesada en Planta Central en Caliente con ligante no modificado.
Descripción. Este trabajo consiste en la construcción de una o mas capas de concreto asfáltico para un pavimento.
Procedimiento.
1. Se colocará la señalización de acuerdo al plan de manejo de tráfico.
2. Se realizara la limpieza y riego de liga con emulsión asfáltica CSS-1h con una tasa de aplicación de 0.06 gal/m2 a 0.10 gal/m2.
3. El equipo que se utilizará será: una pavimentadora, un distribuidor de asfalto, un rodo liso, un rodo neumático, bot cat con barredora y cucharón, equipo de laboratorio para tomar densidad y camiones de volteo.
4. El personal que se utilizara serán: 5 operadores de equipos, 2 ayudantes de operador de equipos, 6 rastrilleros, 6 auxiliares, 1 caporal, 2 banderilleros.
5. Como material se colocara mezcla asfáltica en caliente de 1/2”procedente del plantel de Guazapa.
6. Se controlara que la compactación de la mezcla sea como mínima el 96% de la densidad bulk obtenida en el laboratorio.
Tolerancias.
El espesor de la mezcla compactada será de ± 0.5 cm
La mezcla asfáltica debe cumplir con los parámetros de diseño</td></tr>
<tr><td colspan="4">Tipo(s) de Item: Documento: (x) Plano: ( ) Muestra: ( ) Ensayo: ( ) Otro: ( ).</td></tr>
<tr><td colspan="4">1. Diseño de la mezcla asfáltica.
2. Certificado de calidad de la emulsion asfaltica tipo CSS-1h
3. Esquema de manejo del trafico.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Resolución:
Aprobada: ( ) No conforme ( )</td><td colspan="2" rowspan="2">Sección de los documentos con los que no es conforme (Si hay rechazo)</td></tr>
<tr><td>Firma:</td><td>Sello:</td></tr>
<tr><td>Revisión técnica efectuada por:</td><td>Fecha de revisión:</td><td>Fecha de entrega de resolución:</td><td>Recibió resolución:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Listado de aspectos encontrados de no conformidad con los requisitos contractuales:</td></tr>
</table>

Ensayo No. 27

REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS DE MEZCLADO PARA MEZCLAS EN CALIENTE Y MEZCLAS DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS COLOCADOS EN CALIENTE.

Basado en la especificación AASHTO M 156-97 (2001)

Con norma equivalente en ASTM D 995-95b

1. OBJETIVOS

Al finalizar este ensayo el lector será capaz de:

- Conocer los componentes básicos para una planta de producción de mezclas asfálticas.
- Manejar las tolerancias que se requieren para los distintos componentes y partes del proceso de producción

2. ALCANCES

2.1 Esta especificación contempla los requerimientos para plantas adecuadas para la producción de mezclas en caliente y mezclas de pavimentos bituminosos colocados en caliente.

2.2 Los valores establecidos en unidades de libras-pulgada deben ser considerados como el estándar.

***NOTA**: Un asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios recomendados por AASHTO M 156 en la norma ASTM D 995*

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 *Normas ASTM:*

C 136 Método de Ensayo para Análisis por Tamices de Agregados Fino y Grueso

D 8 Terminología Relacionada a Materiales para Carreteras y Pavimentos

D 140 Práctica para el Muestreo de Materiales Bituminosos

4. TERMINOLOGIA

4.1 Para definiciones de terminos ver Terminología en D 8.

4.2 Descripciones de Términos Específicos a Esta Norma:

4.2.1 *Planta de bacheo, n*— Es una instalación en la que se producen mezclas bituminosas para pavimentación la cual proporciona el agregado y los constituyentes asfálticos en la mezcla por cargas previamente pesadas, añade el material bituminoso por peso o volumen, y mezcla dicha combinación.

4.2.2 *Planta de mezcla continua, n*—Es una instalación en la que se producen mezclas bituminosas para pavimentación en la cual se proporciona continuamente el agregado y los constituyentes bituminosos en la mezcla, por un sistema de proporcionamiento continuo sin definir intervalos de carga.

4.2.3 *Plantas mezcladoras de tambor, n*—las cuales son instalaciones en las que se producen mezclas bituminosas de pavimentación en la que continuamente se proporciona, calienta y seca el agregado en un tambor rotatorio, mezclándolo simultáneamente con una cantidad controlada de material bituminoso. La misma planta puede producir mezclas bituminosas de pavimentación en frío sin calentar ni secar el agregado.

5. REQUERIMIENTOS PARA TODAS LAS PLANTAS

5.1 *Uniformidad*—La planta será capaz de combinar y mezclar uniformemente varios tamaños de agregado; de apilamientos, pavimento asfáltico recuperado, si es requerido, y material bituminoso.

5.2 *Equipamiento para la Preparación de Material Bituminoso:*

5.2.1 Los tanques para almacenamiento de material bituminoso estarán equipados para calentar el material, bajo un control efectivo y positivo todo el tiempo, a la temperatura requerida en las especificaciones para mezclas de pavimentación. El calentamiento será

por serpentines con vapor o serpentines con aceite, electricidad, u otro medio tal que no entre una llama en contacto con el tanque.

5.2.2 El sistema de circulación para el material bituminoso será de capacidad adecuada para proveer una circulación apropiada y continua entre el tanque de almacenamiento y las unidades de proporcionamiento durante el período completo de operación.

5.2.2.1 El extremo de descarga de la tubería de circulación del material bituminoso deberá mantenerse debajo de la superficie del material bituminoso en el tanque de almacenamiento para prevenir que se descargue el material bituminoso caliente al aire libre.

5.2.2.2 Todas las tuberías y sus accesorios deberán estar enchaquetados por vapor o aceite o aislados de una manera apropiada para prevenir perdidas de calor. Cuando el material bituminoso es asfalto emulsificado, se deberán tomar las provisiones en el sistema de transferencia de bitumen que faciliten al operador quitar o reducir el calor de todas las líneas, bombas, y cubeta de material bituminoso enchaquetada, tan pronto como el sistema sea abierto y circule apropiadamente.

5.2.3 La capacidad del tanque de almacenamiento será tal que asegure operación continúa de la planta con temperatura uniforme del material bituminoso cuando es descargado al agregado. Los tanques deberán ser calibrados exactamente a intervalos de 100 gal (378.5 L) y serán accesibles para medir el volumen del material bituminoso en cualquier momento.

5.2.4 Se proveerá de una boquilla y una válvula de muestreo en los tanques de almacenamiento de bitumenes o en la tubería de alimentación entre la bomba y la tubería de retorno en la descarga. La válvula de muestreo será muy fácil de acceder y estará libre de obstrucciones. Un detalle aceptable de una válvula de muestreo es mostrado en AASHTO T 40 figura 3. **(*)**

5.2.5 Cuando se utilicen materiales de relleno o bituminosos nativos, se proveerá de métodos de agitación para mantener un producto uniforme.

5.3 *Filler Mineral*— Se proveerá, cuando sea requerido, de un almacenamiento seco adecuado para filler mineral, y las provisiones respectivas serán hechas para un

proporcionamiento exacto. Los finos que recirculen de un compartimiento de filtros a la mezcla serán considerados como un filler mineral. **(*).**

5.4 *Alimentador de Agregado Frío*— La planta será provista con medios mecánicos para la alimentación uniforme de los agregados en el secador tal que se asegure una producción y temperatura uniforme. Un método de proporcionamiento adecuado será provisto, cuando los agregados deben ser combinados de dos o más tolvas al alimentador en frío para que cumpla los requerimientos de las especificaciones de mezclas de pavimentación.

5.4.1 Si la capacidad para reciclar es requerida, la planta será equipada con medios mecánicos para la alimentación del peso deseado de pavimento asfáltico recuperado en la mezcla. Las instalaciones serán provistas para la obtención de muestras del pavimento asfáltico recuperado.

5.5 *Secador*— Se proveerá un secador de diseño satisfactorio y capaz de secar y calentar el agregado a la humedad y temperatura requeridas por las especificaciones para mezclas de pavimentación. Que no deje aceite no quemado o residuos de carbón visible en el agregado cuando es descargado del secador. **(*)**

5.6 *Unidad para control de bitumenes:*

5.6.1 Se proveerá de medios satisfactorios, ya sea por pesado o medición, para obtener la cantidad apropiada de material bituminoso. La exactitud de los dispositivos de medición estará dentro de 1.0% del peso actual, siendo esta medida cuando el peso ha sido determinado usando otro dispositivo de medición y estará dentro del 0.5% cuando ese peso ha sido determinado usando pesas de prueba. Las básculas del material bituminoso estarán conforme a 9.5.

5.6.2 Se proveerá de medios adecuados, ya sea con enchaquetados para vapor o aceite, u otro aislante, para mantener la temperatura especificada de los materiales bituminosos en las tuberías, medidores, cubetas de pesado, barras rociadoras, y otros contenedores o líneas de flujo.

5.7 *Equipamiento Termométrico:*

5.7.1 Un termómetro de registro revestido, de un rango adecuado, será fijado en la línea de alimentación de material bituminoso en un lugar adecuado, cerca de la descarga a la unidad mezcladora

5.7.2 Termómetros de registro, pirómetros, u otro instrumento termométrico de registro aprobado será colocado en el canal de descarga del secador y, cuando sea aplicable, en las tolvas calientes de finos para indicar y registrar automáticamente la temperatura del agregado calentado o mezcla calentada.

5.8 *Controles de Emisión:*

5.8.1 Plantas localizadas en áreas reguladas por normas de emisión tendrán un sistema de colección de polvo (ver **Fotografía E 27.1**). El sistema será hecho para desechar el material así colectado, o retornar todo o alguna parte uniformemente a la mezcla. **(*)**

5.8.2 Otras emisiones, tales como humo excepto vapor de agua, serán controladas para estar conforme a límites aplicables.

Fotografía E 27.1 **Baghouse o compartimiento de filtros, utilizado como sistema de colección de polvo.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa

5.9 *Tolvas de compensación y almacenamiento*. **(*)**

5.9.1 Las tolvas o silos pueden ser provistos con capacidad para compensación o almacenamiento de mezclas. **(*)**

5.9.2 La mezcla descargada en las unidades de envío desde tolvas o silos con capacidad de compensación, durante periodos de mezclado y envío, será tal que cumpla las especificaciones para mezclas de pavimentación. Las tolvas o silos de compensación serán vaciados al finalizar cada periodo de mezclado y envío. **(*)**

5.9.3 Se permitirá almacenamiento de mezclas entre periodos de producción, para silos que cumplan los requerimientos de la sección 10.**(*)**

5.10 *Requerimientos de Seguridad:*

5.10.1 Se proveerá, si es aplicable, de escaleras adecuadas y seguras hacia la plataforma del mezclador. Escaleras seguras a otras unidades de la planta serán ubicadas donde sea requerido.

5.10.2 Todos los engranajes, poleas, cadenas, ruedas dentadas y otras partes móviles peligrosas estarán completamente cubiertas.

5.10.3 Si es aplicable, se proveerá de un espacio amplio y sin obstrucciones en la plataforma de mezclado.

5.10.4 Un pasaje sin obstrucción será mantenido todo el tiempo en y alrededor del espacio de carga del camión. Este espacio se mantendrá libre de goteras de la plataforma de mezclado. Una escalera o plataforma será ubicada en el espacio de carga del camión para permitir una inspección fácil y segura de la mezcla cuando esta es enviada a los camiones. Se proveerá de protección en la cabeza donde sea necesario.

6. SIGNIFICADO Y USO

6.1 Esta especificación describe los distintos componentes de plantas de bacheo, mezcla continúa, y plantas mezcladoras de tambor. Esta norma es útil para ayudar a evaluar las plantas existentes y para especificar nuevas plantas asegurándose que la planta es capaz de fabricar un producto de calidad. Esta norma no se dirige a la operación y control de la planta o a la producción de la mezcla.

7. REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS QUE CONTROLAN LA GRADUACIÓN EN CALIENTE Y AGREGADOS SECOS

7.1 *Cribado en plantas:*

7.1.1 Las plantas serán equipadas con cribas ubicadas entre el secador y las tolvas para agregado caliente y tendrán capacidad adecuada y un rango de tamaños para separar el agregado caliente en los tamaños requeridos para el proporcionamiento tal que puedan ser recombinados consistentemente dentro de los límites de la especificación.

7.1.2 El tamaño máximo nominal del agregado en las tolvas finas será especificado. El tipo de criba y el tamaño serán determinados por el operador. Ningún agregado será más grande que el máximo especificado.

7.1.3 El control estará basado en ensayos frecuentes de muestras tomadas de las tolvas de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM C 136. El agregado en cada tolva, incluyendo el filler mineral, será combinado en proporciones adecuadas, y dicha combinación será chequeada para observar si se encuentra de acuerdo con las especificaciones para mezclas de pavimentación.

7.2 *Tolvas Calientes de Agregados:*

7.2.1 Las tolvas de almacenamiento en caliente serán provistas de suficiente capacidad para asegurar una operación continua y uniforme. Las tolvas serán divididas en el número especificado de compartimientos arreglados, para asegurar un almacenamiento separado y adecuado de las fracciones apropiadas del agregado.

7.2.2 Cada compartimiento será provisto con un tubo de rebose de un tamaño y ubicación tal que prevenga que el material se pase a otros compartimientos o contacte con las cribas.

7.2.3 Las tolvas serán equipadas con un dispositivo de “aviso” que indique la posición del agregado en las tolvas debajo de los puntos cuartos. Se proveerá un cierre automático en la planta para que opere cuando alguna tolva de agregado se vacíe.

7.2.4 Se deberá proveer instalaciones adecuadas y convenientes para obtener muestras de agregados en cada tolva.

8. REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS QUE CONTROLAN LA GRADUACIÓN EN FRIO Y AGREGADOS HUMEDOS

8.1 *Agregado de Tamaño Máximo*— Agregado de tamaño mayor será rechazado por métodos o dispositivos adecuados antes que el agregado entre al alimentador en frío, o por las cribas de la planta de acuerdo con la sección 7.1.

8.2 *Tolvas de Alimentación en Frío:*

8.2.1 Las tolvas de alimentación en frío para almacenamiento de agregados antes del proporcionamiento estarán equipadas con dispositivos de "aviso" para indicar la posición del agregado en las tolvas debajo de los puntos cuartos. Se proveerá de un cierre automático en la planta para que opere cuando alguna tolva de agregados se vacíe o el flujo de cualquier compuerta de tolva se restrinja.

8.2.2 Se deberá proveer instalaciones adecuadas y convenientes para obtener muestras del flujo completo de agregado de cada tolva para alimentación en frío y de la alimentación en frío total.

8.2.3 Se deberá proveer instalaciones adecuadas y convenientes para desviar el flujo de agregado en camiones u otro contenedor adecuado para chequear la exactitud del sistema de envío de agregado.

8.2.4 El control estará basado en muestras frecuentes de cada tolva de alimentación en frío y el ensayo de la alimentación en frío total por el Método de Ensayo ASTM C 136. Los resultados de las muestras de la alimentación en frío total serán chequeados para saber si se encuentra conforme a las especificaciones de mezclas de pavimentación.

9. REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS DE BACHEO

9.1 *Control de la Graduación del Agregado*— La planta estará equipada para el control de la graduación del agregado de acuerdo con los requerimientos de ya sea la sección 7 o la sección 8.

9.2 *Caja Pesadora:*

9.2.1 Se proveerá de medios para pesar el agregado de cada tolva en una caja pesadora, suspendida en básculas, y amplia en tamaño para mantener una bachada completa.

9.2.2 La caja pesadora será soportada en fulcros y cuñas que no fácilmente será sacada de su alineamiento o ajuste.

9.2.3 Las puertas, de las tolvas y la caja pesadora, no estarán rotas.

9.3 *Básculas de Agregado:*

9.3.1 Las básculas para caja pesadora pueden ser del tipo viga o de cuadrante sin resortes y serán de fabricación y diseño estándar. La exactitud del dispositivo de pesado estará dentro del 1.0% del peso actual, siendo medida cuando el peso ha sido determinado usando otro dispositivo de medición y estará dentro del 0.5% cuando el peso ha sido determinado usando pesas de prueba.

9.3.2 El cambio requerido de carga para alterar notablemente la posición del resto del elemento indicador (o elementos) de una báscula no automática no será mayor que el 0.1% de la capacidad nominal de la báscula.

9.3.3 Las básculas tipo viga serán equipadas con un dispositivo para que indique que la carga requerida se encuentra cercana. Este dispositivo indicará al menos las últimas 200lb (91 kg) de la carga.

9.3.4 Los intervalos de graduación para vigas o básculas de cuadrante no serán mayores que el 0.1% de la capacidad nominal de la báscula. Las graduaciones de la báscula y sus marcas serán plenamente visibles.

9.3.5 Los efectos de paralaje de una báscula de cuadrantes, serán reducidos prácticamente al mínimo con un espacio entre el índice indicador y graduaciones de la báscula que no excedan de 0.06 in (1.5mm).

9.3.6 Las básculas serán equipadas con punteros ajustables para marcar el peso de cada material para que sea pesado en la bachada.

9.3.7 Se proveerán no menos de 10 pesas de prueba, cada una de 50 lbs (22.7 kg) de peso nominal y cada una estampada con su peso actual dentro de ±0.05%, con el propósito de ensayar y calibrar las básculas. Se proveerá para cada báscula un apoyo o plataforma adecuados para aplicar las cargas de ensayo. Los pesos de ensayo se deberán mantener limpios y convenientemente ubicados para la calibración de la báscula.

9.4 *Cubeta para Material Bituminoso:*

9.4.1 Si una cubeta es utilizada, será lo suficientemente grande para alojar una bachada en una sola pesada.

9.4.2 La cubeta y su sistema de llenado serán de un diseño, tamaño y forma tal que el material bituminoso no se rebalse, salpique, o derrame fuera de la cubeta durante el llenado y el pesado.

9.4.3 El tiempo requerido para añadir el material bituminoso no excederá de 20 s. Donde la cantidad de material bituminoso es medida, se tomarán las provisiones necesarias para comprobar el envío por peso actual en el medidor.

9.4.4 La cubeta tendrá enchaquetados para vapor o aceite o equipada con unidades calentadoras eléctricas adecuadamente aisladas. Deberá estar arreglada para enviar el material bituminoso en una lámina delgada uniforme o en múltiples rocíos sobre la longitud completa del mezclador.

9.5 *Básculas para Material Bituminoso*— Las básculas para pesar material bituminoso cumplirán con los requerimientos para básculas de agregados, como está especificado en la sección 9.3 con la diferencia que se le proveerá de un dispositivo para indicar por lo menos las últimas 20 lb (9.1 kg) de la carga total aproximada. Las básculas tipo viga estarán equipadas con una viga de taraje o un adecuado contrabalance para equilibrar la cubeta y compensar periódicamente por la acumulación de material bituminoso en la cubeta.

9.6 *Unidad Mezcladora para el Método de Bacheo:*

9.6.1 La planta incluirá un mezclador por bachadas del tipo amasadero con ejes gemelos aprobados, capaz de producir una mezcla uniforme.

9.6.1.1 El mezclador será diseñado para proveer de alguna manera el ajuste del espacio entre las paletas del mezclador y la pared del amasadero para asegurar un mezclado adecuado y eficiente.

9.6.1.2 Si no está encerrada, la caja mezcladora será equipada con una cubierta para polvo con el fin de prevenir la pérdida de polvo por dispersión.

9.6.1.3 El mezclador será construido para prevenir fuga de sus contenidos.

9.6.1.4 La descarga del mezclador no causará segregación apreciable.

9.6.2 El mezclador será equipado con medios seguros para controlar el tiempo de mezclado y la exactitud del tiempo de cerrado, controlando de esta forma la operación de un ciclo completo de mezclado que es cuando se ha cerrado la puerta de la caja de pesado después que se ha cargado el mezclador hasta que se cierra la puerta del mezclador para completar el ciclo; se cerrará la cubeta de material bituminoso durante todo el período de mezclado en seco y se cerrará la puerta del mezclador durante los periodos de mezclado en seco y en húmedo.

9.6.2.1 El periodo de mezclado en seco está definido como el intervalo de tiempo entre la abertura de la puerta de la caja pesadora y la aplicación de material bituminoso. El periodo de mezclado en húmedo es el intervalo de tiempo entre el comienzo de la aplicación del material bituminoso y la abertura de la puerta del mezclador.

9.6.2.2 El control de tiempo será flexible y capaz de ser ajustado a intervalos de 5s a lo largo de ciclos de hasta 3 min.

9.6.2.3 Si es requerido por las especificaciones, un contador de bachadas mecánico será instalado como parte del dispositivo controlador de tiempo y será diseñado para registrar sólo bachadas mezcladas completamente.

9.7 *Automatización de Planta de Bacheo:*

9.7.1 Si es requerido por las especificaciones, un sistema automático de pesado, ciclo y monitoreo será instalado como parte del equipamiento de la planta de bacheo.

9.7.2 El sistema incluirá equipamiento para proporcionar exactamente los distintos componentes de la mezcla por peso o volumen en el orden adecuado, y el equipamiento para controlar la secuencia del ciclo y el tiempo de las operaciones de mezclado. Será necesario un interbloqueador para que interrumpa los circuitos y pare las operaciones de la planta de bacheo automática siempre que ocurra un error que exceda las tolerancias aceptables en el proporcionamiento.

9.7.3 *Exactitud*— El sistema de proporcionamiento automático será capaz de enviar los materiales consistentemente dentro del rango completo de los tamaños de la bachada con las tolerancias que muestra la tabla E 27.1:

Tabla E 27.1 **Tolerancias para el sistema de proporcionamiento automático.**

	Peso Total de Bachada en la Mezcla de Pavimentación, %
Agregado componente de la bachada	± 1.5
Filler mineral	± 0.5
Material bituminoso	± 0.1
Retorno a cero (agregado)	± 0.5
Retorno a cero (material bituminoso)	± 0.1

Los circuitos eléctricos para las tolerancias de envío, descritas en la **Tabla E 27.1**, de cada interruptor de interbloqueo, serán capaces de proveer el ancho total para la tolerancia completa permisible para el tamaño máximo de bachada. Los controles de tolerancia serán ajustados manual o automáticamente para proveer el intervalo adecuado a las bachadas de tamaño total (**NOTA 1**). Los controles automáticos y los circuitos de interrupción de interbloqueo serán capaces de ser consistentemente coordinados con la báscula de bacheo o medidor dentro de una exactitud de 0.2% de la capacidad nominal (Nota 2) de la báscula o medidor a lo largo del rango completo del tamaño de la bachada.

NOTA 1— Si no se provee de controles de tolerancia separados para el filler mineral, será necesario reducir las tolerancias del agregado a ±0.5% por las bachadas que requieran filler mineral.

NOTA 2— El termino "capacidad nominal" de una báscula o medidor, donde sea referido este punto, es definido como la cantidad máxima que la báscula o el medidor son capaces de medir.

9.8 *Registro de Bachada:*

9.8.1 Si es requerido por las especificaciones, un registro automático gráfico o digital será producido para cada bachada de concreto bituminoso, indicando las proporciones del agregado componente, filler mineral, y material bituminoso. Tales registros de las bachadas serán además identificados mediante una impresión de día y fecha. El material bituminoso proporcionado será registrado por peso o volumen. Si es registrado por

volumen, el registro será en galones a 60ºF (16ºC), galones convertidos a peso en libras, o en galones reales con un registro adicional de la temperatura del material bituminoso.

9.8.2 Si es utilizado un registrador de cinta digital o ticket, se registrarán las proporciones como se indican en las básculas de bacheo o medidores con una exactitud de 0.5% del tamaño máximo de la bachada.

9.8.3 Si se utiliza un registro gráfico, será diseñado de tal manera que la aguja atraviese por lo menos de 9 pulg (229 mm) del ancho del registrador para el peso de agregado total y el material bituminoso máximo por peso o volumen; el precedente será basado en el tamaño máximo de la bachada.

9.8.3.1 Las cartas serán diseñadas para que todas las cantidades, incluyendo el cero puedan ser leídas directamente y tendrán una resolución de al menos diez líneas por pulgada. La velocidad de las cartas será tal que el peso del agregado individual, cuando la bachada sea acumulativa, pueda ser claramente identificada.

9.8.3.2 El registrador deberá registrar las proporciones como se indican en las básculas de las bachadas o medidores dentro de una exactitud del 0.5% del tamaño máximo de la bachada.

10. ALMACENAMIENTO DE MEZCLAS (*)

10.1 *Condiciones de Uso:*

10.1.1 Una planta puede permitir almacenar concreto bituminoso mezclado en caliente en un silo después de una evaluación y previa aprobación del ingeniero. Su uso será de acuerdo con todas las limitaciones en el tiempo de retención, tipo de mezcla, operación del calentador, atmósfera del silo, nivel de la mezcla, u otras características establecidas más adelante en las especificaciones aplicables. Tendrá un dispositivo indicador adjunto a cada silo y visible al operador de carga, que será activado cuando el material se encuentre por debajo de la parte superior de la zona inclinada del silo.

10.2 *Procedimiento de aprobación:*

10.2.1 Una evaluación de una unidad determinará el grado de uniformidad en la composición de la mezcla, características de temperatura, y el grado de cemento asfáltico

endurecido para mezcla procesada en dicha unidad. Se aprobará la operación que consistentemente resulte en mezclas que tengan propiedades de graduación y temperatura de una calidad no menor que la especificada para mezclas descargadas directamente de la operación de mezclado de la planta y que resulte en propiedades de asfalto endurecido que no excedan los límites especificados en la sección 9.3. Mezclas que el ingeniero determine visualmente que se han segregado serán rechazadas.

10.3 *Limites para almacenamiento de mezcla asfáltica:*

10.3.1 Mezcla Asfáltica de graduación densa no excederá dieciocho (18) horas en almacenamiento.

Mezcla Asfáltica de graduación Abierta no excederá dos (2) horas en almacenamiento.

"Los tiempos de almacenamiento indicados pueden ser reducidos por el ingeniero si se determina que es un problema la absorción del asfalto. No será permitido almacenar mezclas de graduación abierta si se ha determinado que la migración de asfalto durante el periodo de almacenamiento es excesivo."

10.3.2 Muestras para ensayos de penetración o viscosidad serán tomadas de camiones cargados de la unidad de almacenamiento u operación de mezclado, enfriadas inmediatamente y mantenidas a una temperatura bajo 0ºC (32ºF) hasta que sean ensayadas.

10.4 *Cambios en el Sistema:*

10.4.1 En el caso que una unidad de almacenamiento aprobada es cargada o alterada, se deberá notificar al ingeniero de las modificaciones. Cualquier diferencia en la unidad aprobada necesitará reevaluación.

10.5 *Uso Temporal de Silos no Aprobados:*

10.5.1 En el caso que se permita el uso de alguna unidad antes de su evaluación y aprobación, los tiempos de almacenamiento máximos serán utilizados como se muestran en la tabla E 27.2 titulada "Tiempos de Almacenamiento Máximo".

Tabla E 27.2 **Tiempos de Almacenamiento**

	Mezcla Fina, Máximo Nominal, Tamaño 12.5mm (1/2 in.)	Mezcla Gruesa, Máximo Nominal, Tamaño 38 mm (1 1/2 in.)
Asfalto no Tratado, aire en silo, max hrs	8	4
Asfalto tratado (Nota 3), aire en silo, max hrs	12	6
Asfalto no Tratado, aire en silo, max hrs	12	6
Asfalto tratado (Nota 3), aire en silo, max hrs	12	12

NOTA 3—Tratado con Dow Corning Fluid DC-200 a una tasa de aproximadamente 30 ml (una onza de fluido) por 18.9 kL (5000 galones) de asfalto.

11. REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS MEZCLADORAS CONTINUAS

11.1 *Control de graduación de agregados*— La planta será equipada para el control de graduación de acuerdo con los requerimientos de la Sección 6 o Sección 7. Se proveerá de métodos exactos para chequear el proporcionamiento de cada tamaño de tolva caliente por peso.

11.1.1 Las tolvas de agregados calientes incluirán alimentadores interbloqueados montados bajo los compartimientos de las tolvas. Los alimentadores interbloqueados estarán equipados con un contador de revoluciones de pruebas de polvo con graduaciones mínimas de un décimo de una revolución. Las proporciones de la mezcla serán establecidos con base en libras (o kilogramos) de tolva de agregado por revolución.

11.1.2 Cada tolva tendrá un mecanismo de alimentación, sujetos a control por medios mecánicos exactos, para controlar la tasa de flujo de agregado extraído de cada tolva respectiva. Donde se utiliza la puerta de alimentador tipo orificio, tendrán al menos una dimensión ajustable por métodos mecánicos exactos. Se proveerán bloqueadores en cada puerta. Se proveerá de calibradores que tengan graduaciones mínimas de no más de 1/10 de pulgada (2.5 mm) para cada puerta para establecer las aberturas de puertas.

11.1.3 Cuando sea especificado añadir filler mineral, se proveerá una tolva y un alimentador separado con su guía interbloqueada con los alimentadores de agregado.

Los finos que recirculen de un compartimiento de filtros a la mezcla serán considerados como un filler mineral. **(*)**

11.1.4 Se proveerá de medios para establecer la tasa de flujo en libras (o kilogaramos) por revolución para básculas por peso.

11.2 *Calibración del Peso del Material Bituminoso y Agregado Alimentado*— La planta incluirá un método de calibración de aberturas de puertas y flujo de material bituminoso por medio de ensayos de peso para muestras, en libras (o kilogramos) por revolución.

11.2.1 El agregado extraído de las tolvas a través de los orificios individuales serán desviadas a cajas de ensayo adecuadas, y cada compartimiento del material será confinado en un receptáculo o compartimiento de ensayo individual.

11.2.2 Se suministrará de accesorios para que el agregado en cada compartimiento pueda ser pesado separadamente.

11.2.3 Los contenedores de ensayo serán de un tamaño conveniente para obtener un peso compuesto de al menos 600 lb (273 kg).

11.3 *Sincronización de Agregados y Material Bituminoso Alimentado*— Se proveerá de métodos satisfactorios para ofrecer un interbloqueo exacto o control mecánico entre el flujo de agregado a través de las puertas y el flujo de material bituminoso en el medidor u otro dispositivo de proporcionamiento. Se proveerá de métodos para chequear la tasa de flujo del material bituminoso en unidades de peso por revolución.

11.4 *Unidad Mezcladora para Método Continuo*— La planta incluirá un mezclador continuo del tipo amasadero con ejes gemelos y será capaz de producir una mezcla uniforme dentro de las tolerancias permisibles de la mezcla de trabajo.

11.4.1 Las paletas serán ajustables en su posición angular en los ejes y reversible para retardar el flujo de la mezcla.

11.4.2 Los mezcladores estarán equipados con tolvas de descarga u otras instalaciones para prevenir la segregación durante la descarga.

11.4.3 El mezclador tendrá una placa del manufacturador que dé el contenido volumetrico neto del mezclador a distintas alturas, inscritas en un calibrador permanentemente.

11.4.4 Se prepararán cartas que den la tasa de agregado alimentado por revolución y por intervalos de tiempo a la velocidad de operación de la planta.

11.4.5 Los mezcladores continuos no obedecerán todo lo que respecta a los requerimientos anteriormente mencionados, pero serán capaces de producir una mezcla uniforme dentro de las tolerancias de la mezcla de trabajo, se considerará su confirmación y puede ser aprobada.

11.4.6 La relación del peso por unidad de volumen de la mezcla no muy bien revestida será determinada y la capacidad del amasadero a la altura de operación será determinada por medio del calibrador de volumen en el lado del mezclador.

11.4.7 Se proveerá de métodos exactos para gobernar el tiempo de mezclado. El tiempo de mezclado será determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de mezclado, s} = \frac{\text{Capacidad muerta del amasadero, lb(kg)}}{\text{sálida del amasadero, lb(kg)/s}}$$

11.5 *Automatización de Plantas Continuas de Mezclado:*

11.5.1 Si es requerido por las especificaciones, serán instalados como parte del equipamiento de la planta dispositivos capaces de pesar y muestrear automáticamente la cantidad de cada tamaño de tolva de agregado caliente y muestrear, pesar, o medir el material bituminoso provisto al amasadero durante un número conocido de revoluciones de la planta o un intervalo de tiempo conocido. Además, cada tolva de agregado caliente, tolva de filler mineral, y tubería de alimentación de material bituminoso tendrán circuitos interbloqueados para que las operaciones de la planta sean paradas si el flujo de agregado o material bituminoso es discontinuo o reducido.

11.5.2 La planta proporcionará cada tamaño de agregado al amasadero con una exactitud tal que el material pesado de cada tolva caliente no se desviará del valor de diseño por una cantidad no mayor de 1.5% del peso total de mezclas bituminosas de pavimentación por revolución o intervalo de tiempo. El material bituminoso será añadido de tal manera

que no se desvíe en no más del 0.1% del peso total de la mezcla bituminosa de pavimentación por revolución o intervalo de tiempo.

11.5.3 Las básculas o medidores, o ambos, utilizados para determinar las cantidades de agregados y bitumen por revolución o intervalos de tiempo serán exactos dentro del 0.20% de su capacidad nominal. El dispositivo para muestreo de agregado tendrá una capacidad no menor de 1 lb por cada tonelada por hora de la capacidad de sálida de la planta o 100 lb (45.2kg) la que sea mayor.

11.6 *Registro de Plantas Continuas:*

11.6.1 Cuando sea requerido por las especificaciones, cada planta tendrá un registrador automatico gráfico o digital para guardar los pesos de muestras de cada tamaño de tolva de agregado caliente y material bituminoso, ya sea individualmente o acumulativamente. Además el registro de la cantidad de muestra, el tiempo de la muestra identificado por una hora y una fecha exacta con aproximación de un minuto también será registrado.

11.6.2 Si es utilizado un registrador de cinta digital o ticket, este será capaz de registrar exactamente el peso a 0.1% de la capacidad nominal del sistema de pesado.

11.6.3 Si es utilizado un registro gráfico, este será diseñado para que la aguja atraviese al menos 9 pulgadas (229 mm) del ancho del registrador para el peso máximo de la muestra de agregado y el peso máximo de material bituminoso. Las cartas serán diseñadas para que todas las cantidades, incluyendo el cero, puedan ser leídas directamente y tendrán una resolución de al menos 10 líneas por pulgada (25.4 mm). La velocidad de la carta será tal que se pueda identificar claramente, el peso individual del agregado, cuando la bachada es acumulativa.

11.6.4 Un registrador digital será instalado como parte de la plataforma de la báscula para camiones. El registrador producirá un registro digital impreso en un ticket del peso bruto y tarado del camión de envío con una hora y fecha impresos para cada ticket. Se harán provisiones para que las escalas no sean manipuladas manualmente durante el proceso de impresión. Además, el sistema será interbloqueado para permitir la impresión solamente cuando la báscula se ha detenido del todo. Las básculas y el registrador tendrán capacidad y tamaño suficiente para pesar exactamente los camiones con cargas

muy pesadas o tractores trailers que son usados para el envío de mezclas bituminosas de pavimentación de la planta.

12. REQUERIMIENTOS PARA PLANTAS MEZCLADORAS DE TAMBOR

12.1 *Control de Graduación de Agregados*— La planta estará equipada con controles para la graduación de agregado de acuerdo con los requerimientos de la sección 7.

12.2 *Sistema de Envío de Agregado:*

12.2.1 La alimentación total de agregado será continuamente pesada por una báscula de banda aprobada (ver **Fotografía E 27.2**). La exactitud del dispositivo de pesado estará dentro del 1.0% del peso actual siendo medido cuando este peso ha sido determinado utilizando otro dispositivo de medición y estará dentro del 0.5% cuando este peso sea determinado utilizando pesas de prueba.

Fotografía E 27.2. **Báscula para pesar los agregados en la banda transportadora antes de ser secados.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

12.2.2 Se harán provisiones para introducir el contenido de humedad de la alimentación total en la banda de pesado para indicar y corregir el peso del agregado húmedo a peso de agregado seco.

12.2.3 Un registro digital automático del peso seco del flujo de agregado será mostrado, registrado y totalizado en unidades apropiadas de peso y tiempo al menos una vez

cada 5 min de la operación de la planta, y a petición, al menos una vez cada minuto de la operación de la planta por un periodo de al menos 5 min.

12.2.4 Cuando se ha especificado filler mineral, se proveerá de una tolva y alimentador separados con su manejo interbloqueado con los alimentadores de agregado.

12.3 *Sistema de Material Bituminoso:*

12.3.1 Se proveerá de métodos satisfactorios para asegurar un interbloqueo exacto entre el peso seco del flujo de agregado y el flujo de material bituminoso por medio de un medidor aprobado. El interbloqueador será capaz de ajustar el flujo del material bituminoso para compensar cualquier variación en el peso seco del flujo de agregado.

12.3.2 Un registro automático digital del flujo de material bituminoso será mostrado, registrado y totalizado en unidades apropiadas de volumen o peso y el tiempo al menos una vez cada 5 min de la operación de la planta, y a petición, al menos una vez cada minuto de la operación de la planta por un periodo de al menos 5 min. El registro digital del flujo de bitumen será coordinado con el registro digital de flujo de agregado seco al punto que el bitumen es descargado en el agregado.

12.4 *Planta Mezcladora de Tambor*— La planta mezcladora de tambor será de un diseño satisfactorio, capaz de secar y calentar el agregado a los requerimientos de humedad y temperatura determinados en las especificaciones de mezclas de pavimentación, y capaz de producir una mezcla uniforme de agregados y material bituminoso (ver fotografía E 27.3). Un sistema de compensación o almacenamiento (ver fotografía E 27.4) que cumpla con 4.9 será provisto.

12.4.1 En el canal de descarga del tambor mezclador, la planta deberá estar equipada con termómetros, pirometros u otro equipo termométrico de registro aprobado. **(*)**

12.4.2 La planta tendrá medios para desviar mezclas al inicio y al final de las operaciones o donde el mezclado no este completo o uniforme. **(*)**

Fotografía E 27.3 **Planta mezcladora y secadora de doble tambor (double barrel) la cual permite secar y mezclar el agregado con el asfalto en dos tambores distintos.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

Fotografía E 27.4. **Silos para el almacenamiento de la mezcla durante el proceso de producción.**

Fotografía tomada en Planta de Mezclas Asfálticas en Caliente **MultiPav**. Guazapa.

Ensayo No. 28

MUESTREO DE MEZCLAS BITUMINOSAS PARA PAVIMENTACIÓN

Basado en norma AASHTO T 168 - 03
Con equivalente en norma ASTM D 979-01

1. ALCANCE

1.1 Esta práctica cubre el muestreo de mezclas bituminosas para pavimentación en los puntos de fabricación, almacenamiento, o en el lugar de entrega.

1.2 Este estándar no propone encargarse de todo lo que concierne a seguridad asociado con su uso, si existe algún riesgo. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

1.3 Los valores declarados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores entre paréntesis son dados sólo para propósitos de información.

NOTA: *Un asterisco entre paréntesis (*) indica que en ese numeral se han realizado cambios recomendados por AASHTO T 168 en la norma ASTM D 979.*

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIAS.

2.1 Normas ASTM:

D 2234 Método de Ensayo para la recolección de una Muestra grande de Carbón.

E 3665 Práctica para Muestreo Aleatorio de Materiales de construcción.

E 105 Práctica para Muestreo Probabilístico de Materiales.

E 122 Práctica para Calcular Tamaño de Muestra a Estimar, Con un Error Tolerable Especificado, el Promedio para una Característica de una gran cantidad ó Procesos.

E 141 Práctica para Aceptación de Evidencia Basado en los Resultados de Muestreo Probabilístico.

(*) 2.2 Normas AASHTO

T 248 Reducción de Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo.

T 2 Muestreo de Agregados

(*) - R 10 Definición de términos para Especificaciones y Procedimientos

3. TERMINOLOGÍA.

3.*1 Definición de Términos Específicos para Esta Norma*:

3.1.1 *Muestra de campo,* n-a, cantidad de material a ser ensayado de suficiente tamaño para proveer una estimación aceptable del promedio de calidad de una unidad.

3.1.2 *Porción*, n –a, parte de una muestra.

3.1.3 *Lote*, n-a cantidad esporádicamente grande de material bulk aislado de una sola fuente, asumido de haber sido producido por el mismo proceso (por ejemplo, la producción de un día o una masa específica del volumen).

3.1.4 *Porción de ensayo*, n-a, cantidad de material de suficiente tamaño extraído de una muestra grande de campo por un procedimiento diseñado para asegurar representación exacta de la muestra de campo, y así de la unidad ensayada.

3.1.5 *Unidad*, n-a, cantidad de subdivisión finita de material en masa (por ejemplo, una carga de camión o un área específica cubierta).

4. SIGNIFICADO Y USO

4.1 General:

4.1.1 El muestreo es igualmente tan importante como el ensayo, y el muestreador tomará todas las precauciones para obtener muestras que produzcan una estimación aceptable de la naturaleza y las condiciones de los materiales que representa.

(*) 4.1.2 Se tendrá cuidado durante el muestreo para evitar segregación del agregado grueso y mortero bituminoso. También se tendrá cuidado para prevenir contaminación por polvo u otra materia extraña.

4.1.3 Muestras para el desarrollo de datos preliminares son obtenido por la parte responsable para el desarrollo de los datos. Las muestras para el control de producto en la

fuente de producción o almacenamiento, o en el lugar de uso, serán obtenidos por el fabricante, contratista, u otra parte responsable para realizar el trabajo. Las muestras para ser usadas en ensayos de decisiones de aceptación ó rechazo por el comprador serán obtenidas por el comprador o su representante autorizado.

5. PROCEDIMIENTO

5.1 *Inspección* - El material será inspeccionado para determinar variaciones perceptibles. El vendedor proveerá equipo necesario para la inspección segura, apropiada y el muestreo.

5.2 *Muestreo* - Los procedimientos para seleccionar localizaciones o tiempos para muestreo son descritas en la Práctica D 3665.

5.2.1 *Muestreo desde una Banda Transportadora* – Pare la banda transportadora. Al azar haga una selección de al menos tres áreas de tamaño aproximadamente igual en la banda para tomar muestras. En cada una de las localizaciones a ser muestreadas, insertar plantillas, la cual se asemejará a la forma de la banda. De las áreas seleccionadas obtenga porciones aproximadamente iguales de material que formarán una muestra cuya cantidad sea igual o exceda al mínimo recomendado en 5.3.2. Cuidadosamente introduzca todo material entre las plantillas en un contenedor adecuado.

5.2.2 *Muestreo desde Carros de Transporte*, - Por un método aleatorio, seleccione las unidades a ser muestreadas de la producción de material entregado. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales. Evite muestrear en la parte superior de la superficie. Seleccione al azar la unidad que será muestreada y combine para formar una muestra de campo cuya cantidad sea igual o exceda el mínimo recomendado en 5.3.2. La muestra puede ser obtenida recolectando las porciones con una cuchara o una pala.

5.2.3 Muestreo desde la Carretera Antes de la compactación - Cuando sólo una muestra debe ser tomada, obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales,

seleccionadas al azar de la unidad que será muestreada, y combine para formar una muestra de campo cuya cantidad sea igual o exceda el mínimo recomendable en 5.3.2.

5.2.3.1 Cuando tres o más muestras son tomadas en orden para evaluar un lote de material, utilice un método aleatorio para determinar las localizaciones donde se muestreara. Tome una muestra, consistente en aproximadamente tres porciones iguales de cada localización, asegurando que la cantidad de cada muestra exceda el mínimo recomendable en 5.3.2.

5.2.3.2 Tome todas las porciones ó muestras de la carretera para la profundidad completa del material, esforzándose para excluir cualquier material subyacente. Cuando sea necesario coloque plantillas en la carretera existente para excluir cualquier material subyacente. Claramente señale el área especificada del cual cada porción o muestra es removida. Las plantillas que son colocadas antes en la mezcla circulante serán una ayuda definitiva para obtener porciones de masa aproximadamente iguales.

(*) 5.2.3.3 Si la mezcla está en un montón (mezcla en frío), muestras aleatorias del montón en intervalos de no más de 150 m (500 pies), serán obtenidas y ensayadas separadamente. Las muestras del montón serán obtenidas por aplastamiento en un punto interior al estrato, a una profundidad aproximadamente de 0.3 m (1 pie) y obtenga en este estrato tres o más proporciones aleatorias para obtener el tamaño de muestra requerido como se muestra en **Tabla 1**.

(*) 5.2.3.4 – Si la mezcla tiene hoja en un estrato relativamente uniforme, las muestras serán obtenidas a intervalos no más de 150 m (500 pies.).

5.2.4 *Muestreo desde un Contenedor Transportador que Entrega Mezcla a un Depósito de Almacenamiento* – Seleccione las unidades a ser muestreada desde el contenedor transportador por un método aleatorio basado en la capacidad de almacenamiento del

depósito. Detenga el contenedor transportador inmediatamente después de la descarga del amasadero. Excave un surco con una profundidad de 150 mm (6 pulg.) extendiéndose desde lo alto hasta el fondo del montón. Obtenga tres porciones aproximadamente iguales de la parte superior, intermedia y el fondo del surco, depositando cada porción en un depósito. Las porciones combinadas deberán formar una muestra de campo cuya cantidad sea igual o exceda el mínimo recomendado en 5.3.2.

5.2.5 *Muestreo desde un dispositivo de Embudo Alimentando un transportador de Mezcla que entrega a un almacenamiento*-- Seleccione las unidades a ser muestreadas del dispositivo de embudo por un método aleatorio basado en la capacidad máxima de almacenamiento del depósito. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales de material, para cada muestra pase un cubo o charola u otro contenedor adecuado a través del flujo completo de material cuando descienda del dispositivo de embudo encima del transportador. Las porciones combinadas deberán formar una muestra de campo cuya cantidad sea igual o exceda el mínimo recomendado en 5.3.2.

5.2.6 *Muestreo desde Carreteras después de la Compactación* - Seleccione las unidades a ser muestreadas por un método aleatorio del material en el lugar. Obtenga al menos tres muestras aproximadamente iguales seleccionadas al azar de la unidad que está siendo muestreada. Ensaye cada muestra y promedie los resultados de ensayo para determinar la aceptabilidad. Tome todas las muestras desde la carretera para la profundidad completa del material, tenga cuidado para excluir cualquier material subyacente. Cada porción será obtenida por perforación, cortado con cierra, u otros métodos de tal modo que se asegure una perturbación mínima del material.

5.2.7 *Muestreo de Mezcla Bituminosa en frío desde un Apilamiento* - mezclas en frío que han estado en apilamiento por algún tiempo pueden presentar una costra en la superficie del apilamiento. Esta costra deberá ser removida hasta una profundidad de

100 mm, sobre un área de un metro cuadrado, para exponer la mezcla no intemperizada. Remueva el apilamiento expuesto y obtenga tres muestras aproximadamente iguales seleccionadas al azar de la unidad que está siendo muestreada, y combínese para formar una muestra de campo cuya cantidad sea igual o exceda el mínimo recomendado en 5.3.2.

5.2.7.1 Cuando tres o más muestras sean tomadas, la muestra será de conformidad con 5.2.3.1.

5.3 *Número y Cantidad de Muestra de Campo:*

5.3.1 El número de muestras de campo (obtenidas por uno de los métodos descritos en 5.2) requerido depende críticamente de, las propiedades a ser medidas y las variaciones. Designe cada unidad de la cual una muestra de campo debe ser obtenida antes del muestreo. El número de muestras de campo de la producción deberá ser suficiente para dar la confianza deseada en los resultados de ensayo.

NOTA 1— Guía para determinar, el número de muestras requeridas para obtener el nivel deseado de confianza en los resultados de ensayos puede ser encontrado en Método D 2234, Práctica E 105, Práctica E 122 y Práctica E 141.

NOTA 2 — La unidad a ser representada por una sola muestra de campo no deberá ser tan grande en lo que se refiere para camuflar los efectos de variabilidad significante dentro de la unidad. Ni una unidad deberá ser tan pequeña en lo que se refiere a ser afectada por la variabilidad inherente entre porciones pequeñas de cualquier masa de material.

NOTA 3—Una unidad de material en bruto compuesto de agregado graduado ó mezclas de agregados podrían constar de un camión lleno. Si fuera posible, la carga entera podría ser ensayada como una materia práctica. Una muestra de campo está compuesta de tres o más porciones seleccionadas al azar del material como sea cargada o Descargada de camión. La investigación ha mostrado que tal procedimiento permite una estimación aceptable para este hecho de la gradación común que podría estar medido de 15 o 20 porciones del camión.

NOTA 4 —La variabilidad significativa dentro de un lote de material donde pudiese existir, deberá ser indicada por medidas estadísticas, como la desviación estándar entre unidades seleccionadas aleatoriamente dentro de la parte delantera.

5.3.2 Una guía para la cantidad de material en las muestras de campo es dado en la Tabla 1. Las cantidades dependen del tipo y el número de ensayos a los cuales el material debe ser sometido, y suficiente material debe ser obtenido para prever la correcta ejecución de estos ensayos. El control estándar y los ensayos de aceptación están bajo el auxilio de Estándares ASTM que especifican la porción de muestra de campo requerida para cada ensayo específico. Generalmente, las cantidades especificadas en la **Tabla 1** proveerán material adecuado para los ensayos rutinarios.Las porciones extraídas para ensayos de las muestra de campo por cuarteo o paleo o dividiéndose en una manera similar a la Práctica AASHTO T 248 ó según lo solicitado por otros métodos de ensayos aplicables.

6. ENVÍO DE MUESTRAS

6.1 Transporte muestras en contenedores construidos para evitar pérdida o contaminación de cualquier parte de la muestra, o daño a los contenwedores durante el transporte.

Tabla E 28.1 **Guía para Estimación de Cantidad de**

Tamaño Máx. Nominal de Agregado[A]	Masa Aproximada de Mezcla no Compactada, mínima, Kg (lb)
2.36 mm (No. 8)	2 (4)
4.75 mm (No. 4)	2 (4)
9.5 mm (3/8 pulg.)	4 (8)
12.5 mm (1/2 pulg.)	5 (12)
19.0 mm (3/4 pulg.)	7 (16)
25.0 mm (1 pulg.)	9 (20)
37.5 mm (1 ½ pulg.)	11 (25)
50 mm (2pulg.)	16 (35)

[A] El tamaño máximo nominal de agregado es el tamaño de malla más grande tamaño listado en la especificación aplicable en la cual cualquier material está permitido para ser retenido.

6.2 Las muestras serán identificadas individualmente dando la información requerida por el usuario de la muestra. La información típica que puede ser útil podría incluir, pero no necesariamente pude estar limitada, lo siguiente:

6.2.1 Trabajo para el cual el material debe ser usado. Dando el número de proyecto, número de ruta de la carretera, información geográfica, y otro,

6.2.2 Fuente de la muestra, incluyendo para muestras mezcladas en planta, el nombre del dueño o el operador de planta, la ubicación, tipo de la planta, tamaño de carga, y la identificación del betumen y agregado mineral usados en la mezcla.

6.2.3 Punto en el cual se muestreo, las muestras tomadas de carreteras, carril y la ubicación del ángulo en el pavimento; también si se muestreó del pavimento completo, de un montón, etc.

(*) 6.2.4 Número de Lote

6.2.5 Cantidad representada

6.2.5 Por quién se tomo la muestra y título

6.2.6 Dato más reciente de mezclado, si es mezcla de carretera,

6.2.7 Dato de muestreo,

6.2.8 A quién se entregará, dirección

6.2.9 Propósito para el cual la muestra fue obtenida, y

6.2.10 Para quién se va hacer el reporte.

Ensayo No. 29

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLAS DE BETUNES-AGREGADOS

Basado en norma AASHTO T 230-68 (2000)

1. OBJETIVOS

Al finalizar este ensayo el lector será capaz:

- Conocer los distintos métodos para muestrear un pavimento compactado.
- Saber que método es el más apropiado para cada paso en específico.

2. ALCANCES

2.1 Este método describe los procedimientos para la determinación del grado de compactación de pavimentos para una mezcla betún-agregado relacionadas a especimenes estándar compuestos de los mismos materiales y dentro de las tolerancias de la formula de trabajo de la mezcla.

2.2 Los valores establecidos en unidades SI son consideradas como las estándar.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

3.1 *Normas AASHTO:*

T 166, Gravedad Específica Bula de Mezclas Asfálticas Compactadas Utilizando Especimenes Saturados Superficialmente Secos.

T 167, Resistencia a la Compresión de Mezclas Bituminosas.

3.2 *Normas ASTM:*

D 2950, Densidad de Concreto Bituminoso en el Lugar por el Método Nuclear.

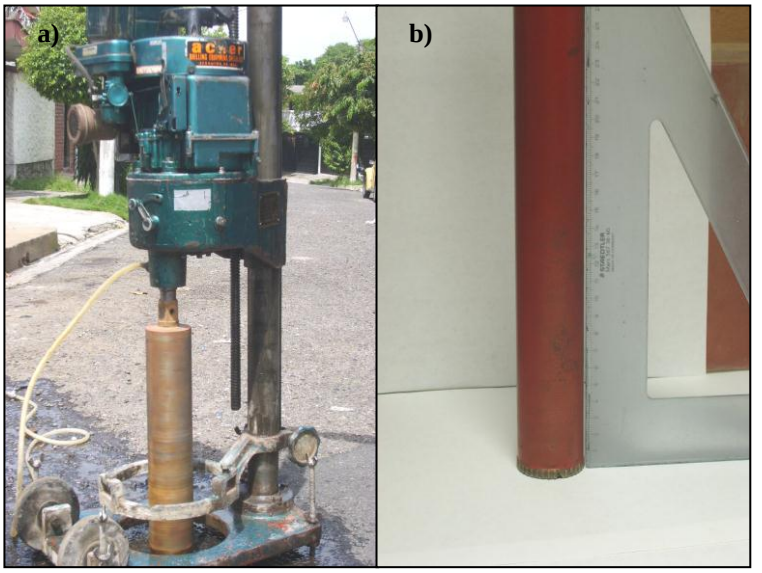
4. MUESTREO Y ENSAYO

4.1 Se realizará removiendo la muestra de un pavimento compactado.

4.1.1 *Equipo*:

4.1.1.1 Cualquier herramienta adecuada para remover en forma intacta un espécimen cuadrado, circular o un núcleo de pavimento compactado con el espesor completo de capa o capas. Un cincel de impacto, una sierra con hoja de diamante para pavimento, un anillo de acero para densidad, o un sacanúcleos de diamante (ver **Fotografía E 29.1**) son adecuados para este propósito. El sacanúcleos será equipado para núcleos y especimenes recuperados con un diámetro aproximado de 100 a 150 mm (5 o 6 pulg). El anillo para densidad tendrá un diámetro interno aproximado de 150 mm (6 pulg) y una altura aproximada de 6.4 mm menor que el espesor de la capa compactada.

4.1.1.2 Un plato rígido o un contenedor grande adecuado suficiente para mantener la muestra sin distorsión después que está se ha removido del pavimento.



Fotografía E 29.1

Equipo para extracción de núcleos de un pavimento:
a) Extractor de núcleos
b) Broca para extracción de núcleos

Fotografía tomada en Calle las Victorias Col. Layco.

4.1.2 *Procedimiento:*

4.1.2.1 *Método A*—Un material adecuado de tamaño apropiado para prevenir la unión (o cohesión) entre estratos del pavimento será colocado y su ubicación identificada. Después que el pavimento ha sido colocado y compactado, cortar y remover una muestra con forma cuadrada del lugar mencionado anteriormente. (Ver apéndice A para método típico.)

4.1.2.2 *Método B*—Cuando la muestra va a ser extraída, pre identifique el lugar donde la muestra puede ser extraída. Cuando la operación de extracción de núcleos ha sido completada (ver **Fotografía E 29.2**), remueva cuidadosamente la muestra del extractor de núcleos. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado en el pavimento es de 25 mm o menor, una broca de 100 mm (4 pulg) de diámetro o mayor será utilizado. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado esta sobre los 25 mm, una broca de 150 mm (6 pulg) de diámetro será utilizado.

Fotografía E 29.2. **Operación para hacer el núcleo**

Fotografía tomada en Calle las Victorias Col. Layco.

4.1.2.3 *Método C*—La muestra será obtenida por el Método del Anillo para Densidad. (Ver apéndice B.)

4.1.2.4 Después que la muestra del pavimento ha sido cortada o se le ha hecho el núcleo (ver fotografía E 29.3), está deberá ser cuidadosamente removida. Teniendo el cuidado que la muestra no este distorsionada, doblada en forma de curva, agrietada, o que tenga alguna forma que cambie su condición física de cómo era antes de ser removida del pavimento. La muestra será entonces enviada al laboratorio. Si por alguna razón hay un retraso para enviar la muestra al laboratorio, esta será colocada en un lugar seguro y fresco.

Fotografía E 29.3.

Núcleos hechos con la broca de un sacanúcleos:
a) Núcleo en el pavimento.
b) Núcleos extraídos.

4.1.2.5 Se deberá presentar información completa para identificación con la muestra.

4.2 *Determinación de la Gravedad Específica de la Muestra Tomada del Pavimento Compactado:*

4.2.1 La gravedad específica de la muestra será determinada de acuerdo con AASHTOT 166.

4.3 *Determinación de la gravedad específica/densidad del pavimento compactado por medidor nuclear.*

4.3.1 La gravedad específica/densidad del pavimento compactado puede ser determinada en el lugar por un ensayo de acuerdo con ASTM D2950, "Densidad de Concreto Asafaltico en el Lugar por el Método Nuclear."

4.4 *Especimenes Estándar:*

4.4.1 Los especimenes estándar serán preparados de una muestra representativa de la mezcla a ser ensayada por compactación, de acuerdo con AASHTO T 167 u otro método aceptable.

4.5 Determinación de la gravedad específica de un espécimen estándar compactado en laboratorio.

4.5.1 La gravedad específica de los especimenes estándar será determinada de acuerdo con AASHTO T 166.

5. GRADO DE COMPACTACION DEL PAVIMENTO

5.1 El grado de compactación será determinado dividiendo la gravedad específica de los especimenes de pavimento por la gravedad específica de los especimenes estándar y será expresado como un porcentaje:

$$\text{Grado de Compactación} = \frac{\text{Gravedad Específica del Pavimento}}{\text{Gravedad Específica de Especimen Estándar}} \times 100 \qquad (1)$$

29.0 APENDICE A

29.A.1 OBTENCIÓN DE UN ESPECIMEN CUADRADO DE PAVIMENTO COMPACTADO

29.A1.1 Colocar un cartón, una hoja de metal ligera o lámina de metal cuadrada de 300 mm (12 pulg), en el carril en particular que esté siendo pavimentado. No será colocada más cerca de 0.6 m (2 pie) de ya sea el extremo del carril o de una junta longitudinal. Referenciar las cuatro esquinas del cuadrado midiendo de puntos conocidos y registrar las distancias. Después que el pavimento es colocado y compactado, clavar cabezas rojas (clavos con un cuadrado de tela roja adherida a sus cabezas), en las cuatro esquinas del cuadrado abajo del pavimento. Esto identificará la ubicación de la muestra cuando es cortada y removida.

29.A1.2 Utilizando ya sea un cincel de impacto o una sierra con hoja de diamante, hacer los cortes en el pavimento conectando los cuatro puntos medidos. Esto dará una muestra de pavimento de 300 por 300 mm (12 por 12 pulg) que puede fácilmente ser removida ya que su cohesión es rota directamente por el cartón, u hoja de metal, o lámina de metal.

29.0 APENDICE B

29.B.1 EQUIPO

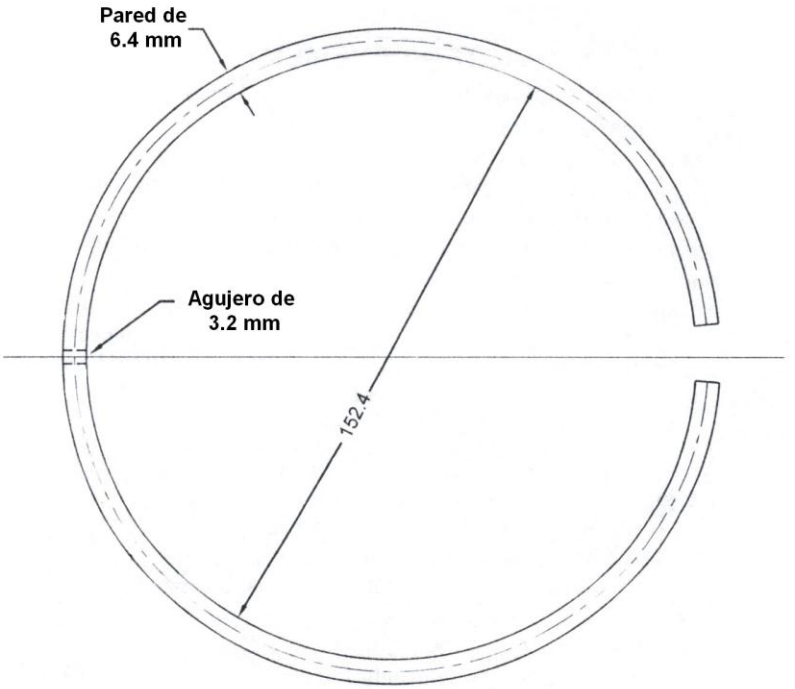
29.B1.1 *Anillo para densidad*—El anillo para densidad será de acero, con un diámetro interior aproximado de 150 mm (6 pulg) y una altura de aproximadamente 6.4 mm (1/4 pulg) menor que el espesor de la capa compactada de mezcla asfáltica de la cual el espécimen es removido.

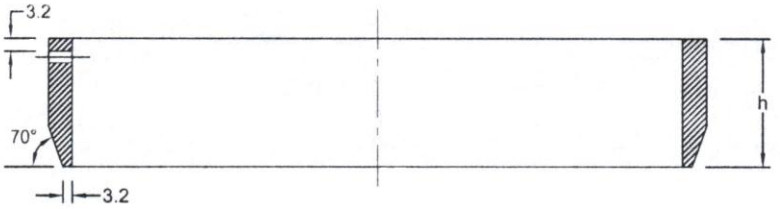
29.B1.1.1 Anillos de la altura requerida pueden ser cortados de acero dulce (de bajo carbono), estirado en frío, tubos de acero sin soldadura, tubos mecánicos—con 150 mm de diámetro interno, espesor de pared de 6.4 mm (6 pulg de diámetro interno, ¼ pulg de espesor de pared).

29.B1.1.2 La parte inferior de la pared exterior del anillo será cortada en un bisel (aproximadamente 20º) hasta que el extremo inferior sea de un ancho aproximado de 3.2 mm (1/8 pulg). El anillo será rectificado de tal forma que los extremos superior e inferior sean paralelos el uno al otro y perpendiculares a la pared interior.

29.B1.1.3 La pared será cortada en una ubicación como la que se muestra en la Figura E 29.1. El corte de la sección será de aproximadamente 1.6 mm (1/16 pulg) de ancho, o como sean cortadas por la cuchilla de la sierra. Si el corte se abre más de lo deseado, este puede ser regresado a la dimensión deseada por la compresión de la abertura del anillo con una prensa de tornillo.

29.B1.1.4 Un agujero con diámetro aproximado de 3.2 mm de diámetro será taladrado en el anillo opuesto a la sección de corte. El centro del agujero será de aproximadamente 4.8 mm (3/16 pulg) del extremo superior del anillo. Por medio del agujero, puede ser adherido un alambre adecuado al anillo para ayudar a remover el anillo y el espécimen de pavimento compactado. Todos los extremos del anillo partido, incluyendo la sección cortada, serán quitadas las rebabas y se alisaran limandolas.





Equivalentes Dimensionales

mm	in.
3.2	⅛
6.4	¼
152.4	6

Notas: 1. Todas las dimensiones son mostradas en milimetros a no ser que sean anotadas de otra forma.
2. h = 6.4 mm menos que el espesor de la capa compactada de la cual el especimen es removido. Todas las dimensiones son aproximadas.

Figura E 29.1 **Anillo para densidad de pavimentos típico.**

29.B1 PROCEDIMIENTO

29.B2.1 En la base o capa de nivelación en la que la mezcla asfáltica esta siendo colocada, y en la ubicación seleccionada, colocar el anillo de densidad con el extremo biselado hacia abajo delante de la operación de tendido. Si es deseado una pieza de lámina de aluminio ligeramente más grande que el anillo de densidad puede ser colocada entre el anillo y la base o capa de nivelación.

29.B2.2 Una cuerda puede ser añadida al alambre corto fijado al anillo de densidad y dirigida afuera del área de la operación de tendido. Después que la máquina de tendido ha pasado sobre el anillo de densidad, pero antes que la operación de compactación comience, la cuerda y el alambre son levantados a través de la mezcla no compactada y dejados sobre la superficie. Después que la operación de compactación está completa, la cuerda y el alambre son levantados de la superficie para ubicar el anillo de densidad y el espécimen adjunto. Por medio del alambre, y con la ayuda de una palanca (se hará con un desatornillador grande), el anillo de densidad junto al espécimen serán removidos del pavimento. Hielo seco en una bolsa plástica puede ser utilizado para enfriar la mezcla compactada antes que el anillo y el espécimen sean removidos. Después que el anillo y el espécimen han sido removidos, el material cerca del extremo superior (arriba del anillo de densidad) que pueda haberse aflojado o alterado durante la operación de remoción, será cortado de la porción no alterada del espécimen.

29.B2.3 Remover el espécimen del anillo, un desatornillador fuerte es insertado en la sección cortada y girado para expandir el anillo y permitir que el espécimen sea retirado, o sea sacado. Se debe tener cuidado para que el espécimen no sea deformado durante la operación de remoción.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Es de suma importancia antes de realizar cualquier ensayo el muestreo y la subsiguiente reducción de muestras a tamaño de ensayo, ya que éstas tienen una gran influencia en los resultados de los ensayos; si el muestreo se realiza mal, al ejecutar el ensayo se tendrán valores no representativos del material.

- El procedimiento con el cual un agregado es almacenado ó apilado influirá en gran manera en la variación de sus propiedades volumétricas y específicamente en el ensayo granulométrico debido a la segregación que se presenta de partículas grandes al pie del apilamiento.

- Debido a que el asfalto es un material susceptible a los cambios de temperatura, es importante contar con la carta viscosidad-temperatura que es de la cual se obtienen los rangos apropiados de temperatura para mezclar y compactar el asfalto con los agregados.

- La carta viscosidad-temperatura ayuda a entender como se comporta el asfalto cuando sufre cambios de temperatura y es única para cada tipo de asfalto.

- Un asfalto con componentes muy volátiles disminuye considerablemente la durabilidad de un concreto asfáltico, por lo que los ensayos de película delgada y película delgada en horno rotatorio son necesarios al momento de aprobar un tipo de asfalto que será utilizado en concreto asfáltico.

- Una combinación de agregados que proporcionen una granulometría según una especificación de diseño adoptada para un tipo de mezcla en particular, sólo es aceptada cuando todos los criterios del método de diseño se cumplen completamente.

- La gravedad específica es un factor determinante en el contenido optimo de asfalto de una mezcla, puesto que a mayor gravedad específica se requiere un menor contenido de asfalto y viceversa, por la cantidad de asfalto que absorben los poros.

- Entre mayor sea la proporción de finos en una mezcla, se necesitará un mayor porcentaje de asfalto óptimo ocasionando que la mezcla sobrepase el valor máximo del porcentaje de vacíos llenos de asfaltos (VFA).

- Durante el proceso de diseño de mezcla utilizar un equipo mecánico de mezclado es más conveniente que realizar todo el proceso de mezclado a mano, dado que se pueden tener problemas de un recalentamiento local acelerándose la evaporación de sus componentes volátiles.

- En una planta debe hacerse análisis granulométrico cada vez que se recibe nuevo agregado en la planta y también con cierta periodicidad en los apilamientos como parte del control de calidad, puesto que es un ensayo determinante en las propiedades de la mezcla.

- Las plantas continuas son adecuadas cuando se requieren grandes volúmenes de material producido, pero necesitan un control bastante delicado de sus sistemas de alimentación en mayor medida que en una planta de dosificación.

- El tipo de maquinaria y espesor de la capa de rodadura son factores que influyen en el establecimiento del patrón de compactación, el cual es determinado en la construcción del tramo de prueba.
- El patrón de compactación establecido en el tramo de prueba debe ser el que se ejecute durante todo el proyecto, siempre que se mantengan las mismas condiciones de espesores de colocación y equipos de compactación. Cada vez que cambie algo debe verificarse nuevamente el patrón de compactación.

RECOMENDACIONES

- No se puede rechazar un material por el hecho de que el resultado de un ensayo no cumpla con los parámetros dados por las especificaciones, sino que se debe repetir los ensayos para asegurarse de que estos resultados están en lo correcto. Se recomienda llevar un control estadístico de los resultados y no tomar decisiones sobre datos puntuales sino más bien sobre tendencias.

- Se deben aplicar procedimientos en los que se obtengan muestras que reproduzcan fielmente las características del agregado.

- Se deben homogenizar muy bien los acopios antes de la toma de muestras, para garantizar que las mismas son representativas.

- Se recomienda realizar ensayos de granulometría, sanidad, abrasión y gravedad específica como parte del control de calidad en la etapa de selección de materiales, ya que estos reflejan las características más importantes que deben ser evaluadas en un agregado, ya sea este proveniente del proceso de trituración, o del almacenamiento en planta.

- Se recomienda realizar un estudio profundo antes de seleccionar el banco de material petreo para que no haya problemas de desabastecimiento en un futuro.

- Se debe mantener el mismo banco de material petreo y realizar ensayos a los materiales que se provean para asegurarse que estos no cambien, en el caso que haya un cambio deben realizarse todos los ensayos que sean necesarios para garantizar una buena calidad del material.

- El almacenamiento y manejo del asfalto es un proceso que se debe realizar con sumo cuidado para evitar accidentes y lesiones.

- Siempre que sea posible el uso de una mezcladora mecánica mejora las posibilidades de realizar un mejor diseño de mezcla, ya que minimizan los riesgos de envejecimiento al tener un tiempo de mezclado menor y un mejor control de temperatura.

- El criterio del diseño Marshall que es más difícil de controlar en el diseño es el valor de %VFA, que según las especificaciones debe encontrarse entre 65%-75%; pues si se obtiene un valor inferior a 65% se tendrá una película delgada de asfalto que recubra las partículas de agregado, lo que ocasionará un envejecimiento temprano del asfalto y por lo tanto la capa de rodadura se vuelva frágil en corto tiempo; en cambio si se obtiene un valor de VFA arriba de 75% se dará el problema de exudación de asfalto en la carpeta de rodadura.

- Se recomienda realizar ensayos de gravedad específica a los agregados con alguna frecuencia, para monitorear que no hayan cambios de densidad significativos en los materiales y que pudieran afectar las propiedades volumétricas de los mismos y por consiguiente afectar el diseño de la mezcla.

- Se debe realizar la calibración periódica bajo norma para todo el equipo de ensayo y medición que se utiliza para el control de calidad y el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

- El control de calidad en una planta de producción no sólo se remite a la verificación de la mezcla producida sino también se extiende a la calibración y mantenimiento de todos los componentes de la planta; así como del manejo del material en bruto y la mezcla producida.

- Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante sobre la correcta operación de la planta y los mantenimientos preventivos y correctivos de la misma.

- Se debe construir un tramo de prueba para cada proyecto, antes de iniciar la colocación y compactación de la mezcla, ya que de este es el que se obtiene el procedimiento para colocación y su respectivo patrón de compactación.

- Se recomienda solicitar al proveedor una carta viscosidad-temperatura, cada vez que se haga un pedido de asfalto.

- Se recomienda hacer y seguir un plan de control de calidad, desde la aceptación hasta la colocación, donde se defina claramente cuales son los ensayos de control de calidad a realizar y la frecuencia de los mismos, con el cual todas las partes involucradas en el proyecto estén conformes.

- La revisión periódica de las normas a intervalos de uno a dos años es una práctica recomendable para estar al día con los cambios que se realicen a estas.

ANEXO I

Tabla A-I

Factores de corrección para cambio de volumen por temperatura en cementos asfálticos.

Fuente: ASTM D4311

Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen [A,B] 15°C A	B	Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen [A,B] 15°C A	B	Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen [A,B] 15°C A	B
−25.0	1.0254	1.0290	0	1.0095	1.0108	25.0	0.9937	0.9929
−24.5	1.0251	1.0287	0.5	1.0092	1.0104	25.5	0.9934	0.9925
−24.0	1.0248	1.0283	1.0	1.0088	1.0101	26.0	0.9931	0.9921
−23.5	1.0244	1.0279	1.5	1.0085	1.0097	26.5	0.9928	0.9918
−23.0	1.0241	1.0276	2.0	1.0082	1.0094	27.0	0.9925	0.9914
−22.5	1.0238	1.0272	2.5	1.0079	1.0090	27.5	0.9922	0.9911
−22.0	1.0235	1.0268	3.0	1.0076	1.0086	28.0	0.9918	0.9907
−21.5	1.0232	1.0265	3.5	1.0073	1.0083	28.5	0.9915	0.9904
−21.0	1.0228	1.0261	4.0	1.0069	1.0079	29.0	0.9912	0.9900
−20.5	1.0225	1.0257	4.5	1.0066	1.0076	29.5	0.9909	0.9897
−20.0	1.0222	1.0254	5.0	1.0063	1.0072	30.0	0.9906	0.9893
−19.5	1.0219	1.0250	5.5	1.0060	1.0068	30.5	0.9903	0.9889
−19.0	1.0216	1.0246	6.0	1.0057	1.0065	31.0	0.9900	0.9886
−18.5	1.0212	1.0243	6.5	1.0054	1.0061	31.5	0.9897	0.9882
−18.0	1.0209	1.0239	7.0	1.0050	1.0057	32.0	0.9893	0.9879
−17.5	1.0206	1.0235	7.5	1.0047	1.0054	32.5	0.9890	0.9875
−17.0	1.0203	1.0232	8.0	1.0044	1.0050	33.0	0.9887	0.9872
−16.5	1.0200	1.0228	8.5	1.0041	1.0047	33.5	0.9884	0.9868
−16.0	1.0196	1.0224	9.0	1.0038	1.0043	34.0	0.9881	0.9865
−15.5	1.0193	1.0221	9.5	1.0035	1.0039	34.5	0.9878	0.9861
−15.0	1.0190	1.0217	10.0	1.0031	1.0036	35.0	0.9875	0.9858
−14.5	1.0187	1.0213	10.5	1.0028	1.0032	35.5	0.9872	0.9854
−14.0	1.0184	1.0210	11.0	1.0025	1.0029	36.0	0.9869	0.9850
−13.5	1.0180	1.0206	11.5	1.0022	1.0025	36.5	0.9865	0.9847
−13.0	1.0177	1.0202	12.0	1.0019	1.0022	37.0	0.9862	0.9843
−12.5	1.0174	1.0199	12.5	1.0016	1.0018	37.5	0.9859	0.9840
−12.0	1.0171	1.0195	13.0	1.0013	1.0014	38.0	0.9856	0.9836
−11.5	1.0168	1.0192	13.5	1.0009	1.0011	38.5	0.9853	0.9833
−11.0	1.0165	1.0188	14.0	1.0006	1.0007	39.0	0.9850	0.9829
−10.5	1.0161	1.0184	14.5	1.0003	1.0004	39.5	0.9847	0.9826
−10.0	1.0158	1.0181	15.0	1.0000	1.0000	40.0	0.9844	0.9822
−9.5	1.0155	1.0177	15.5	0.9997	0.9996	40.5	0.9841	0.9819
−9.0	1.0152	1.0173	16.0	0.9994	0.9993	41.0	0.9837	0.9815
−8.5	1.0149	1.0170	16.5	0.9991	0.9989	41.5	0.9834	0.9812
−8.0	1.0145	1.0166	17.0	0.9987	0.9986	42.0	0.9831	0.9808
−7.5	1.0142	1.0162	17.5	0.9984	0.9982	42.5	0.9828	0.9805
−7.0	1.0139	1.0159	18.0	0.9981	0.9979	43.0	0.9825	0.9801
−6.5	1.0136	1.0155	18.5	0.9978	0.9975	43.5	0.9822	0.9797
−6.0	1.0133	1.0152	19.0	0.9975	0.9971	44.0	0.9819	0.9794
−5.5	1.0130	1.0148	19.5	0.9972	0.9968	44.5	0.9816	0.9790
−5.0	1.0126	1.0144	20.0	0.9969	0.9964	45.0	0.9813	1.9787
−4.5	1.0123	1.0141	20.5	0.9965	0.9961	45.5	0.9809	0.9783
−4.0	1.0120	1.0137	21.0	0.9962	0.9957	46.0	0.9806	0.9780
−3.5	1.0117	1.0133	21.5	0.9959	0.9953	46.5	0.9803	0.9776
−3.0	1.0114	1.0130	22.0	0.9956	0.9950	47.0	0.9800	0.9773
−2.5	1.0111	1.0126	22.5	0.9953	0.9946	47.5	0.9797	0.9769
−2.0	1.0107	1.0122	23.0	0.9950	0.9943	48.0	0.9794	0.9766
−1.5	1.0104	1.0119	23.5	0.9947	0.9939	48.5	0.9791	0.9762
−1.0	1.0101	1.0115	24.0	0.9944	0.9936	49.0	0.9788	0.9759
−0.5	1.0098	1.0112	24.5	0.9940	0.9932	49.5	0.9785	0.9755

[A]Utilizar los factores de la columna A para asfaltos con densidad a 15°C de 966 kg/m³ o mayor

[B]Utilizar los factores de la columna B para asfaltos con densidad a 15°C de 850 a 965 kg/m³

Tabla A-I

Factores de corrección para cambio de volumen por temperatura en cementos asfálticos.

Fuente: ASTM D4311

Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C A	B	Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C A	B	Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C A	B
50.0	0.9782	0.9752	75.0	0.9628	0.9578	100.0	0.9476	0.9407
50.5	0.9779	0.9748	75.5	0.9625	0.9574	100.5	0.9473	0.9403
51.0	0.9775	0.9745	76.0	0.9622	0.9571	101.0	0.9470	0.9400
51.5	0.9772	0.9741	76.5	0.9619	0.9567	101.5	0.9467	0.9396
52.0	0.9769	0.9738	77.0	0.9616	0.9564	102.0	0.9464	0.9393
52.5	0.9766	0.9734	77.5	0.9613	0.9561	102.5	0.9461	0.9390
53.0	0.9763	0.9731	78.0	0.9609	0.9557	103.0	0.9458	0.9386
53.5	0.9760	0.9727	78.5	0.9606	0.9554	103.5	0.9455	0.9383
54.0	0.9757	0.9724	79.0	0.9603	0.9550	104.0	0.9452	0.9379
54.5	0.9754	0.9720	79.5	0.9600	0.9547	104.5	0.9449	0.9376
55.0	0.9751	0.9717	80.0	0.9597	0.9543	105.0	0.9446	0.9373
55.5	0.9748	0.9713	80.5	0.9594	0.9540	105.5	0.9443	0.9369
56.0	0.9745	0.9710	81.0	0.9591	0.9536	106.0	0.9440	0.9366
56.5	0.9741	0.9706	81.5	0.9588	0.9533	106.5	0.9437	0.9363
57.0	0.9738	0.9703	82.0	0.9585	0.9530	107.0	0.9434	0.9359
57.5	0.9735	0.9699	82.5	0.9582	0.9526	107.5	0.9431	0.9356
58.0	0.9732	0.9696	83.0	0.9579	0.9523	108.0	0.9428	0.9352
58.5	0.9729	0.9692	83.5	0.9576	0.9519	108.5	0.9425	0.9349
59.0	0.9726	0.9689	84.0	0.9573	0.9516	109.0	0.9422	0.9346
59.5	0.9723	0.9685	84.5	0.9570	0.9512	109.5	0.9419	0.9342
60.0	0.9720	0.9682	85.0	0.9567	0.9509	110.0	0.9416	0.9339
60.5	0.9717	0.9678	85.5	0.9564	0.9506	110.5	0.9413	0.9335
61.0	0.9714	0.9675	86.0	0.9561	0.9502	111.0	0.9410	0.9332
61.5	0.9711	0.9671	86.5	0.9558	0.9499	111.5	0.9407	0.9329
62.0	0.9708	0.9668	87.0	0.9555	0.9495	112.0	0.9404	0.9325
62.5	0.9704	0.9664	87.5	0.9552	0.9492	112.5	0.9401	0.9322
63.0	0.9701	0.9661	88.0	0.9549	0.9488	113.0	0.9398	0.9319
63.5	0.9698	0.9658	88.5	0.9546	0.9485	113.5	0.9395	0.9315
64.0	0.9695	0.9654	89.0	0.9542	0.9482	114.0	0.9392	0.9312
64.5	0.9692	0.9651	89.5	0.9539	0.9478	114.5	0.9389	0.9309
65.0	0.9689	0.9647	90.0	0.9536	0.9475	115.0	0.9386	0.9305
65.5	0.9686	0.9644	90.5	0.9533	0.9471	115.5	0.9383	0.9302
66.0	0.9683	0.9640	91.0	0.9530	0.9468	116.0	0.9380	0.9298
66.5	0.9680	0.9637	91.5	0.9527	0.9464	116.5	0.9377	0.9295
67.0	0.9677	0.9633	92.0	0.9524	0.9461	117.0	0.9374	0.9292
67.5	0.9674	0.9630	92.5	0.9521	0.9458	117.5	0.9371	0.9288
68.0	0.9671	0.9626	93.0	0.9518	0.9454	118.0	0.9368	0.9285
68.5	0.9668	0.9623	93.5	0.9515	0.9451	118.5	0.9365	0.9282
69.0	0.9665	0.9619	94.0	0.9512	0.9447	119.0	0.9362	0.9278
69.5	0.9661	0.9616	94.5	0.9509	0.9444	119.5	0.9359	0.9275
70.0	0.9658	0.9612	95.0	0.9506	0.9441	120.0	0.9356	0.9272
70.5	0.9655	0.9609	95.5	0.9503	0.9437	120.5	0.9353	0.9268
71.0	0.9652	0.9605	96.0	0.9500	0.9434	121.0	0.9350	0.9265
71.5	0.9649	0.9602	96.5	0.9597	0.9430	121.5	0.9347	0.9262
72.0	0.9646	0.9599	97.0	0.9494	0.9427	122.0	0.9344	0.9258
72.5	0.9643	0.9595	97.5	0.9491	0.9424	122.5	0.9341	0.9255
73.0	0.9640	0.9592	98.0	0.9488	0.9420	123.0	0.9338	0.9251
73.5	0.9637	0.9588	98.5	0.9485	0.9417	123.5	0.9335	0.9248
74.0	0.9634	0.9585	99.0	0.9482	0.9413	124.0	0.9332	0.9245
74.5	0.9631	0.9581	99.5	0.9479	0.9410	124.5	0.9329	0.9241

[A]Usar los factores de la columna A para asfaltos con una densidad a 15°C de 966kg/m^3 o mayor

[B]Usar los factores de la columna B para asfaltos con una densidad a 15°C de 850 kg/m^3 a 965 kg/m^3 , kg/m^3

Tabla A-I

Factores de corrección para cambio de volumen por temperatura en cementos asfálticos.

Fuente: ASTM D4311

Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C		Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C		Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C	
	A	B		A	B		A	B
125.0	0.9326	0.9238	150.0	0.9177	0.9072	175.0	0.9031	0.8909
125.5	0.9323	0.9235	150.5	0.9174	0.9069	175.5	0.9028	0.8906
126.0	0.9320	0.9231	151.0	0.9171	0.9066	176.0	0.9025	0.8903
126.5	0.9317	0.9228	151.5	0.9169	0.9063	176.5	0.9022	0.8900
127.0	0.9314	0.9225	152.0	0.9166	0.9059	177.0	0.9019	0.8896
127.5	0.9311	0.9221	152.5	0.9163	0.9056	177.5	0.9016	0.8893
128.0	0.9308	0.9218	153.0	0.9160	0.9053	178.0	0.9013	0.8890
128.5	0.9305	0.9215	153.5	0.9157	0.9049	178.5	0.9010	0.8887
129.0	0.9302	0.9211	154.0	0.9154	0.9046	179.0	0.9008	0.8884
129.5	0.9299	0.9208	154.5	0.9151	0.9043	179.5	0.9005	0.8880
130.0	0.9296	0.9205	155.0	0.9148	0.9040	180.0	0.9002	0.8877
130.5	0.9293	0.9201	155.5	0.9145	0.9036	180.5	0.8999	0.8874
131.0	0.9290	0.9198	156.0	0.9142	0.9033	181.0	0.8996	0.8871
131.5	0.9287	0.9195	156.5	0.9139	0.9030	181.5	0.8993	0.8867
132.0	0.9284	0.9191	157.0	0.9136	0.9026	182.0	0.8990	0.8864
132.5	0.9281	0.9188	157.5	0.9133	0.9023	182.5	0.8987	0.8861
133.0	0.9278	0.9185	158.0	0.9130	0.9020	183.0	0.8984	0.8858
133.5	0.9275	0.9181	158.5	0.9127	0.9017	183.5	0.8981	0.8855
134.0	0.9272	0.9178	159.0	0.9124	0.9013	184.0	0.8979	0.8851
134.5	0.9269	0.9175	159.5	0.9121	0.9010	184.5	0.8976	0.8848
135.0	0.9266	0.9171	160.0	0.9119	0.9007	185.0	0.8973	0.8845
135.5	0.9263	0.9168	160.5	0.9116	0.9004	185.5	0.8970	0.8842
136.0	0.9260	0.9165	161.0	0.9113	0.9000	186.0	0.8967	0.8839
136.5	0.9257	0.9162	161.5	0.9110	0.8997	186.5	0.8964	0.8835
137.0	0.9254	0.9158	162.0	0.9107	0.8994	187.0	0.8961	0.8832
137.5	0.9251	0.9155	162.5	0.9104	0.8991	187.5	0.8958	0.8829
138.0	0.9248	0.9152	163.0	0.9101	0.8987	188.0	0.8955	0.8826
138.5	0.9245	0.9148	163.5	0.9098	0.8984	188.5	0.8952	0.8823
139.0	0.9242	0.9145	164.0	0.9095	0.8981	189.0	0.8950	0.8819
139.5	0.9239	0.9142	164.5	0.9092	0.8977	189.5	0.8947	0.8816
140.0	0.9236	0.9138	165.0	0.9089	0.8974	190.0	0.8944	0.8813
140.5	0.9234	0.9135	165.5	0.9086	0.8971	190.5	0.8941	0.8810
141.0	0.9231	0.9132	166.0	0.9083	0.8968	191.0	0.8938	0.8807
141.5	0.9228	0.9128	166.5	0.9080	0.8964	191.5	0.8935	0.8803
142.0	0.9225	0.9125	167.0	0.9078	0.8961	192.0	0.8932	0.8800
142.5	0.9222	0.9122	167.5	0.9075	0.8958	192.5	0.8929	0.8797
143.0	0.9219	0.9118	168.0	0.9072	0.8955	193.0	0.8926	0.8794
143.5	0.9216	0.9115	168.5	0.9069	0.8951	193.5	0.8924	0.8791
144.0	0.9213	0.9112	169.0	0.9066	0.8948	194.0	0.8921	0.8787
144.5	0.9210	0.9109	169.5	0.9063	0.8945	194.5	0.8918	0.8784
145.0	0.9207	0.9105	170.0	0.9060	0.8942	195.0	0.8915	0.8781
145.5	0.9204	0.9102	170.5	0.9057	0.8939	195.5	0.8912	0.8778
146.0	0.9201	0.9099	171.0	0.9054	0.8935	196.0	0.8909	0.8775
146.5	0.9198	0.9095	171.5	0.9051	0.8932	196.5	0.8906	0.8771
147.0	0.9195	0.9092	172.0	0.9048	0.8929	197.0	0.8903	0.8768
147.5	0.9192	0.9089	172.5	0.9045	0.8926	197.5	0.8901	0.8765
148.0	0.9189	0.9086	173.0	0.9042	0.8922	198.0	0.8898	0.8762
148.5	0.9186	0.9082	173.5	0.9040	0.8919	198.5	0.8895	0.8759
149.0	0.9183	0.9079	174.0	0.9037	0.8916	199.0	0.8892	0.8755
149.5	0.9180	0.9076	174.5	0.9034	0.8913	199.5	0.8889	0.8752

[A]Usar los factores de la columna A para asfaltos con densidad a 15ºC de 966 kg/m^3 o mayor

[B]Usar los factores de la columna B para asfaltos con densidad a 15ºC de 850 kg/m^3 a 966 kg/m^3

Tabla A-I

Factores de corrección para cambio de volumen por temperatura en cementos asfálticos.

Fuente: ASTM D4311

Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C		Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C		Temperatura Observada °C	Factor de Corrección de Volumen[A,B] a 15°C	
	A	B		A	B		A	B
200.0	0.8886	0.8749	225.0	0.8743	0.8592	250.0	0.8602	0.8437
200.5	0.8883	0.8746	225.5	0.8740	0.8589	250.5	0.8599	0.8434
201.0	0.8880	0.8743	226.0	0.8738	0.8585	251.0	0.8597	0.8431
201.5	0.8878	0.8740	226.5	0.8735	0.8582	251.5	0.8594	0.8438
202.0	0.8875	0.8736	227.0	0.8732	0.8579	252.0	0.8591	0.8425
202.5	0.8872	0.8733	227.5	0.8729	0.8576	252.5	0.8588	0.8422
203.0	0.8869	0.8730	228.0	0.8726	0.8573	253.0	0.8585	0.8419
203.5	0.8866	0.8727	228.5	0.8723	0.8570	253.5	0.8583	0.8415
204.0	0.8863	0.8724	229.0	0.8721	0.8567	254.0	0.8580	0.8412
204.5	0.8860	0.8721	229.5	0.8718	0.8564	254.5	0.8577	0.8409
205.0	0.8857	0.8717	230.0	0.8715	0.8560	255.0	0.8574	0.8406
205.5	0.8855	0.8714	230.5	0.8712	0.8557	255.5	0.8571	0.8403
206.0	0.8852	0.8711	231.0	0.8709	0.8554	256.0	0.8569	0.8400
206.5	0.8849	0.8708	231.5	0.8706	0.8551	256.5	0.8566	0.8397
207.0	0.8846	0.8705	232.0	0.8704	0.8548	257.0	0.8563	0.8394
207.5	0.8843	0.8702	232.5	0.8701	0.8545	257.5	0.8560	0.8391
208.0	0.8840	0.8698	233.0	0.8698	0.8542	258.0	0.8557	0.8388
208.5	0.8837	0.8695	233.5	0.8695	0.8539	258.5	0.8555	0.8385
209.0	0.8834	0.8692	234.0	0.8692	0.8536	259.0	0.8552	0.8382
209.5	0.8832	0.8689	234.5	0.8689	0.8533	259.5	0.8549	0.8379
210.0	0.8829	0.8686	235.0	0.8687	0.8529	260.0	0.8546	0.8376
210.5	0.8826	0.8683	235.5	0.8684	0.8526	260.5	0.8544	0.8373
211.0	0.8823	0.8680	236.0	0.8681	0.8523	261.0	0.8541	0.8370
211.5	0.8820	0.8676	236.5	0.8678	0.8520	261.5	0.8538	0.8367
212.0	0.8817	0.8673	237.0	0.8675	0.8517	262.0	0.8535	0.8364
212.5	0.8814	0.8670	237.5	0.8673	0.8514	262.5	0.8532	0.8361
213.0	0.8812	0.8667	238.0	0.8670	0.8511	263.0	0.8530	0.8358
213.5	0.8809	0.8664	238.5	0.8667	0.8508	263.5	0.8527	0.8354
214.0	0.8806	0.8661	239.0	0.8664	0.8505	264.0	0.8524	0.8351
214.5	0.8803	0.8657	239.5	0.8661	0.8502	264.5	0.8521	0.8348
215.0	0.8800	0.8654	240.0	0.8658	0.8498	265.0	0.8518	0.8345
215.5	0.8797	0.8651	240.5	0.8656	0.8495	265.5	0.8516	0.8342
216.0	0.8794	0.8648	241.0	0.8653	0.8492	266.0	0.8513	0.8339
216.5	0.8792	0.8645	241.5	0.8650	0.8489	266.5	0.8510	0.8336
217.0	0.8789	0.8642	242.0	0.8647	0.8486	267.0	0.8507	0.8333
217.5	0.8786	0.8639	242.5	0.8644	0.8483	267.5	0.8505	0.8330
218.0	0.8783	0.8635	243.0	0.8642	0.8480	268.0	0.8502	0.8327
218.5	0.8780	0.8632	243.5	0.8639	0.8477	268.5	0.8499	0.8324
219.0	0.8777	0.8629	244.0	0.8636	0.8474	269.0	0.8496	0.8321
219.5	0.8775	0.8626	244.5	0.8633	0.8471	269.5	0.8493	0.8318
220.0	0.8772	0.8623	245.0	0.8630	0.8468	270.0	0.8491	0.8315
220.5	0.8769	0.8620	245.5	0.8627	0.8465	270.5	0.8488	0.8312
221.0	0.8766	0.8617	246.0	0.8625	0.8461	271.0	0.8485	0.8309
221.5	0.8763	0.8614	246.5	0.8622	0.8458	271.5	0.8482	0.8306
222.0	0.8760	0.8610	247.0	0.8619	0.8455	272.0	0.8480	0.8303
222.5	0.8757	0.8607	247.5	0.8616	0.8452	272.5	0.8477	0.8300
223.0	0.8755	0.8604	248.0	0.8613	0.8449	273.0	0.8474	0.8297
223.5	0.8752	0.8601	248.5	0.8611	0.8446	273.5	0.8471	0.8294
224.0	0.8749	0.8598	249.0	0.8608	0.8443	274.0	0.8469	0.8291
224.5	0.8746	0.8595	249.5	0.8605	0.8440	274.5	0.8466	0.8288

[A]Usar los factores de la columna A para asfaltos con una densidad a 15ºC de 966 kg/m^3 o mayor

[B]Usar los factores de la columna B para asfaltos con una densidad a 15ºC de 850 kg/m^3 a 965 kg/m^3

ANEXO II

Tabla A-II **Problemas en mezcla asfáltica producida y sus causas**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS-22, Asphalt Institute

Agregados demasiado húmedos	Separación inadecuada de pilas	Compuertas de alimentadoras de agregado mal ajustadas	Secador muy inclinado	Ajuste muy empinado del secador	Operación incorrecta del secador	Indicador de temperatura fuera de ajuste	Temperatura muy alta del agregado	Cribas desgastadas	Operación defectuosa de las cribas	Rebosaderos de las tolvas sin funcionar	Tolvas con escapes	Segregación de agregados en las tolvas	Sobrante en las tolvas por sobrecarga en las cribas	Balanzas del agregado fuera de ajuste	Pesado incorrecto	Alimentación no uniforme de relleno mineral	Muy pocos agregados en las tolvas calientes	Secuencia incorrecta de pesaje	Muy poco asfalto	Demasiado asfalto	Distribución defectuosa del asfalto hacia los agregados	Básculas del asfalto fuera de ajuste	Medidor de asfalto fuera de ajuste	Carga demasiado pequeña o demasiado grande	Tiempo incorrecto de mezclado	Paletas mal ajustadas o desgastadas	Compuerta de descarga defectuosa	Alimentación no sincronizada de asfalto y agregado	Sacudimiento ocasional de polvo en las tolvas	Operación irregular de la planta	Muestreo defectuoso	Tipos de deficiencias que pueden ser encontradas en la producción de mezclas de planta de pavimentación
		A												B	B				A	A	A	B	C	B	B	B		C			A	Contenido de asfalto no concuerda con la formula de la mezcla en obra
	A	A						B	B	B	B	A	A	B	B	B	A							B		B	B	C	B		A	La granulometría del agregado no concuerda Con la formula de la mezcla en obra
	A	A							B	B	B	A	A	B	B	B	A							B	B			C	B		A	Demasiados finos en la mezcla
A			A	A	A	A	A																						A		Difícil de mantener temperaturas uniformes
											B			B	B									B								Los pesos de los camiones no concuerdan con Los pesos de las cargas
													A	B	B					A	A	B	C	B		B		C				Asfalto libre en la mezcla del camión
																		B									B					Polvo libre en la mezcla del camión
A			A	A	A	A													A		A	B	C	B	B	B		C		A		Agregado grande sin revestir
									B	B	A	A		B	B	B	A	B			A	B	C		B	B	B	C	B	A		Mezcla no uniforme en el camión

Tabla A-II **Problemas en mezcla asfáltica producida y sus causas**

Tomada de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS-22, Asphalt Institute

Agregados demasiado húmedos	Separación inadecuada de pilas	Compuertas alimentadoras de agregado mal ajustadas	Secador muy inclinado	Ajuste muy empinado del secador	Operación incorrecta del secador	Indicador de temperatura fuera de ajuste	Temperatura muy alta del agregado	Cribas desgastadas	Operación defectuosa de las cribas	Rebosaderos de las tolvas sin funcionar	Tolvas con escapes	Segregación de agregados en las tolvas	Sobrante en las tolvas por sobrecarga en las cribas	Balanzas del agregado fuera de ajuste	Pesado incorrecto	Alimentacion no uniforme de relleno mineral	Muy pocos agregados en las tolvas calientes	Secuencia incorrecta de pesaje	Muy poco asfalto	Demasiado asfalto	Distribucion defectuosa del asfalto hacia los agregados	Básculas del asfalto fuera de ajuste	Medidor de asfalto fuera de ajuste	Carga demasiado pequeña o demasiado grande	Tiempo incorrecto de mezclado	Paletas mal ajustadas o desgastadas	Compuerta de descarga defectuosa	Alimentación no sincronizada de asfalto y agregado	Sacudimiento ocasional de polvo en las tolvas	Operación irregular de la planta	Muestreo defectuoso	Tipos de deficiencias que pueden ser encontradas en la producción de mezclas de planta de pavimentación
																		B			A			B	B	B				A		Mezcla grasosa en un lado; dentro del camión
					A															A	A	B	C	B				C		A		La mezcla se aplana dentro del camión
		A			A	A	A																							A		Mezcla quemada
A			A	A	A	A			B										A			B	C	B				C		A		Mezcla demasiado parda o gris
														B	B	B	A			A	A	B	C	B				C		A		Mezcla con exceso de betún
					A	A	A																							A		Mezcla humea en el camión
A			A	A	A	A																								A		Mezcla emite vapor en el camión
					A	A	A												A										A	A		Mezcla aparece opaca en el camión