

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



**“COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO  
SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO”**

PRESENTADO POR:

STEVE LUDOVICO DOMINGUEZ PORTILLO

CECILIA GISELA NAVARRO RIVAS

TANIA IBETT RAMIREZ MEJIA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2005

UES BIBLIOTECA  
INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Inventario 15101877

T-UES  
1501  
D671c  
2005

TUES  
1501  
D6712  
2005

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



**“COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO  
SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO”**

PRESENTADO POR:

STEVE LUDOVICO DOMINGUEZ PORTILLO

CECILIA GISELA NAVARRO RIVAS

TANIA IBETT RAMIREZ MEJIA

15101872  
15101892

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

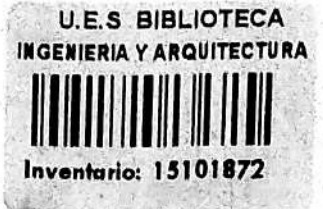


5677

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2005

Recibido el 21 de Septiembre 2005

**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 INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO CIVIL**

Título:

**“COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO  
SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO”**

Presentado por:

**STEVE LUDOVICO DOMINGUEZ PORTILLO**

**CECILIA GISELA NAVARRO RIVAS**

**TANIA IBETT RAMIREZ MEJIA**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

**ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA**

Docente Director externo:

**ING. RAFAEL ALEJANDRO GONZALEZ MAGAÑA**

San Salvador, Septiembre de 2005

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:



  
ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

  
ING. RAFAEL ALEJANDRO GONZALEZ MAGAÑA

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradeciendo primeramente a Dios por haber culminado una de mis metas.

A mi madre por su amor y comprensión.

A mi hermano por su apoyo incondicional.

A mi novia, por la motivación e inspiración que me brinda.

A las familias Gómez Rivera, Flamenco Samayoa y Murcia Zamora por su amistad, cariño y apoyo mostrado.

Gracias a Ceci y Tania por creer en este proyecto y haberlo sacado adelante juntos y a todas aquellas personas e instituciones que colaboraron de una u otra manera, ya sea con su tiempo, conocimientos, consejos, donación de materiales y préstamo de equipo e instalaciones, ya que sin ellos esta investigación no hubiese sido llevada a cabo.

Steve Ludovico

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS, doy gracias por darme la vida, por su eterna paciencia y amor, porque sin él no hubiese llegado hasta donde estoy infinitas GRACIAS...

A MIS PADRES, a ti Madre querida por tu apoyo y paciencia, por que junto a ti lo he logrado, siempre has estado en cada etapa de mi vida ¡en esta no podías faltar!. A ti Papá porque aunque en algunas ocasiones eres duro lo compensas con tu amor y generosidad hacia nosotras. Templanza, Fortaleza, Lealtad, Firmeza, me enseñaste te estoy muy agradecida por ello.

A MIS HERMANAS, Elizabeth, Paty y Sofía. Por ser ustedes..., cada una aportó (y lo sigue haciendo) experiencias, consejos, momentos, a mi vida ¡como negar su aporte en este trabajo!, se los agradezco profundamente.

A MI FAMILIA, es grande en número, en amor, en unidad, gracias por estar pendientes de mis avances y logros, les debo mucho.

A MIS AMIGOS, no somos autosuficientes, y todo es más fácil cuando contamos con alguien que nos ayude, Gracias.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, Tania, por recordarme que los problemas se resuelven con los pies sobre la tierra, sinceridad, confianza y afecto son virtudes que te caracterizan. ¡Gracias Amigal por hacer que el desarrollo de este trabajo fuese más fácil, aportaste mucho a mi crecimiento humano.

Steve, fuimos un buen equipo para ti, gracias a Dios finalizamos esta meta ¡Lo logramos!

Agradezco a todas las personas que me apoyaron y ayudaron durante todas las etapas de mi carrera, a mis jefes y compañeros de trabajo y demás personas que de manera directa o indirectamente tuvieron que ver en este proyecto, les estoy muy agradecida.

Cecilia Navarro.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi Madre del Cielo, por haberme brindado la fortaleza en cada instante, por su protección y bendición de cumplir este sueño.

A mis padres: Héctor y Ana, por sus consejos, cuidados, comprensión, apoyo y por inspirarme desde pequeña a cumplir esta meta.

A mis hermanas: Ursela y Norma por cuidarme y aconsejarme, por ser mi consuelo y mi refugio (han sido mis ángeles de la guarda)

A mis sobrinos Fátima, Pablo, Rebeca, Flor de Maria y Hugo, por ser mi alegría y mi luz.

A mis cuñados: Ernesto y Victor por su colaboración y consejos.

A mi mejor amigo y novio: Julio, gracias por cuidarme, escucharme, aconsejarme y acompañarme en las buenas y en las malas.

A mis amigos por ser un tesoro valioso para mí. Gracias por enfrentar conmigo las penas, sufrimientos, pruebas y aburrimiento.

A la Familia Aguilar Vidal, por su amor, detalles y atenciones.

A la Familia Navarro Rivas, por su valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A mi amiga Cecilia, por su esfuerzo y dedicación constante en cada una de las etapas de este trabajo y por haber hecho que la tesis sea una experiencia agradable al descubrir una amistad sin igual.

A mis compañeros de grupo Cecilia y Steve, por su colaboración.

**Tania Ramírez**

## **AGRADECIMIENTOS ESPECIALES**

**A nuestros asesores:**

**ING. JOSE MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA**

**ING. RAFAEL ALEJANDRO GONZALEZ MAGAÑA**

Gracias por compartir sus conocimientos, esfuerzo y tiempo en el desarrollo del presente trabajo, fue un placer haber trabajado con ustedes.

**A las siguientes empresas por colaborar con materiales, equipo e instalaciones:**

**CONCRETERA SALVADOREÑA, S.A. DE C.V.**

**INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, ISCYC**

**LA CANTERA, S.A. DE C.V.**

**CEMENTOS DE EL SALVADOR, CESSA.**

A las personas que nos colaboraron desinteresadamente brindándonos asesoría técnica y apoyo. A todos ellos muchas gracias.

ING. GUILLERMO FLORES  
(Jefe de control de calidad de la concretera salvadoreña).

ING. SAUL CEA  
(Jefe de Producción Plantel Angue y Plantel Jiboa).

ING. JULIO ESCOBAR  
(Jefe de Producción La Cantera San diego).

ING. ESTUARDO HERRERA  
(Cementos Progreso, S.A.).

## INDICE

---

### CAPITULO 1

#### GENERALIDADES

<b>1.1 Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1 Experiencias externas</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2 Experiencia local</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Objetivos</b>	<b>13</b>
<b>1.3.1 Objetivo general</b>	<b>13</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Alcances</b>	<b>14</b>
<b>1.5 Limitaciones</b>	<b>16</b>
<b>1.6 Justificación</b>	<b>17</b>
<b>1.7 Metodología de la investigación</b>	<b>18</b>

### CAPITULO 2

#### AGREGADOS PARA CONCRETO

<b>2.1 Generalidades</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Tipos y clasificación de los agregados</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1 Tipos de agregados</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2 Clasificación de los agregados de peso normal</b>	<b>27</b>



2.6.5.2 Equipo para plantas de trituración según la etapa de reducción de material	115
2.6.5.2.1 Trituración primaria	117
2.6.5.2.2 Trituración secundaria y terciaria	121
2.6.5.2.3 Trituración cuaternaria	130
2.6.5.2.4 Equipo complementario	132
2.6.6 Enfoque ambiental	152
2.6.7 Canteras que producen arena triturada en El Salvador	154
2.6.7.1 Plantel Angue	155
2.6.7.2 Pedrera de El Salvador, S.A. de C.V. (Plantel Jiboa)	164
2.6.7.3 La Cantera S.A. de C.V. (San Diego)	173
2.6.7.4 Plantel La Bóveda	184

### CAPITULO 3

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

3.1 Introducción	191
3.2 Pruebas de laboratorio	192
3.2.1 Ensayos para determinar la calidad de los agregados finos naturales y triturados	193
3.2.2 Ensayos a los agregados para el proporcionamiento de mezclas	200

<b>3.3 Resultado de ensayos</b>	<b>208</b>
<b>3.3.1 Agregados Plantel Angue</b>	<b>208</b>
<b>3.3.2 Agregados Plantel Jiboa</b>	<b>225</b>
<b>3.3.3 Agregados Banco Cangrejera</b>	<b>241</b>
<b>3.3.4 Resumen general de resultados</b>	<b>257</b>
<b>3.4 Análisis de resultados</b>	<b>259</b>
<b>3.4.1 Perdida de finos por lavado</b>	<b>259</b>
<b>3.4.2 Análisis granulométrico</b>	<b>260</b>
<b>3.4.3 Gravedad específica y absorción</b>	<b>261</b>
<b>3.4.4 Contenido de impurezas orgánicas</b>	<b>263</b>
<b>3.4.5 Resistencia al desgaste del agregado grueso</b>	<b>264</b>
<b>3.4.6 Peso volumétrico</b>	<b>265</b>

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO Y ELABORACION DE MEZCLAS**

<b>4.1 Descripción del método a emplear para el diseño de mezclas (ACI 211.1)</b>	<b>268</b>
<b>4.2 Proporcionamiento de mezclas de concreto según ACI 211.1</b>	<b>269</b>
<b>4.2.1 Secuencia empleada en laboratorio</b>	<b>273</b>
<b>4.2.2 Realización de mezclas de prueba</b>	<b>274</b>
<b>4.2.3 Ejemplo de diseño de mezcla</b>	<b>276</b>
<b>4.3 Evaluación estadística de la resistencia a la compresión</b>	<b>280</b>

4.3.1 Aplicación de criterios de aceptación	282
4.4 Presentación de resultados y análisis	288
4.4.1 Características físicas de los agregados finos empleados en las mezclas de concreto	295
4.4.2 Proporcionamiento de las mezclas de concreto	300
4.4.3 Ensayos de cilindros de concreto empleando arena del Plantel Angue	309
4.4.4 Ensayos de cilindros de concreto empleando arena del Plantel Jiboa	326
4.4.5 Ensayos de cilindros de concreto empleando arena del Banco Cangrejera	341
4.4.6 Gráficos comparativos entre las tres arenas en estudio	357
4.4.7 Gráficos de variación de revenimiento vrs. fecha de colado	373
4.4.8 Gráficos de variación de peso volumétrico vrs. fecha de colado	378
4.4.9 Tablas y gráficos de la cantidad de cilindros en función a la fecha de elaboración	384

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>5.1 Conclusiones</b>	<b>389</b>
<b>5.1.1 Conclusión general</b>	<b>389</b>
<b>5.1.2 Conclusiones específicas</b>	<b>389</b>
<b>5.2 Recomendaciones</b>	<b>392</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>393</b>

## CAPITULO 1

### GENERALIDADES

#### 1.1 Antecedentes

El concreto<sup>1</sup> es el material artificial de construcción más antiguo del que se tenga conocimiento. Los estudiosos le determinan una edad de aproximadamente de 2200 años y más recientemente se le atribuye una edad de uso de 7600 años.

La idea que el concreto pudiera tener 7600 años gira en torno al descubrimiento de nueve horizontes culturales hallados en la región del Danubio<sup>2</sup>, ante las Puertas de Hierro bajo el macizo de piedra caliza Korso-Brdo, al hacer un estudio detallado de estos estratos se pudo observar que hasta el estrato ocho tenían 5500 a 6000 años, no así el noveno estrato que tenía una edad aproximadamente mayor que la indicada anteriormente. El compuesto encontrado era un material a base de cal rojiza, arena, grava y agua que al ser utilizado en los pisos era generalmente precocido.

---

<sup>1</sup> Se hace referencia al concepto que se tenía en esa época, ya que empleaban mezclas de agregados con materiales cementantes, que con el paso del tiempo dio origen a lo que se conoce en la actualidad como concreto.

<sup>2</sup> Río de Europa Central y Sudoriental. Nace en la selva negra (Alemania), y descansa en el Mar Negro.

Trasladándonos en el tiempo a la Roma Antigua, se sabe que los romanos utilizaban una mezcla hidráulica compuesta de calcáreos arcillosos con agregados de puzolanas o bien harina de laterita. Con los agregados apropiados, ellos estaban en condiciones de producir el Opus Caementitium o "Cemento Romano", precursor de nuestro concreto y que dio origen el término cemento.

La tecnología del concreto ha evolucionado a lo largo de la historia, convirtiéndose en uno de los materiales de construcción más versátiles, formado por la mezcla de tres componentes esenciales que son: el cemento, el agua y los agregados, a los cuales se les incorpora un cuarto componente que genéricamente se denomina aditivo. Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

Puesto que los agregados constituyen casi tres cuartas partes o más (de 60% a 80%) del volumen del concreto, es importante el papel que desempeñan como ingrediente principal y es de esperar que las propiedades de estos agregados tengan un notable efecto sobre las propiedades del concreto, en las proporciones de la mezcla y la economía de este.

En este sentido se han realizado investigaciones en nuestro país para conocer la calidad de los agregados en los principales bancos o fuentes de explotación, como el realizado por el Centro de Investigaciones Geotécnicas y la Misión Geológica Alemana entre los años 1971 y 1973, además se destacan los trabajos de graduación: "Estudio de la Calidad de los Agregados para Concreto en las Canteras más Importantes de El Salvador" (Parte I y Parte II), investigaciones realizadas en la Universidad de El Salvador en los años 1998 y 1999 respectivamente.

La escasez de fuentes de explotación, calidad de los agregados no acorde con las exigencias de normativas y controles gubernamentales en lo referente a la explotación de canteras y bancos, ha obligado en otros países investigar materiales alternativos.

En lo que respecta a las arenas naturales, se ha encontrado como alternativa el uso de arena manufacturada, producto de la trituración de roca, la cual debe cumplir con la normativa para la arena natural ASTM<sup>3</sup> C-33.

La arena de trituración ha sido empleada con éxito por mucho tiempo en otros países, tales como: Alemania, Finlandia, España, Estados Unidos, Canadá, Puerto Rico, Venezuela, Chile, Brasil y Argentina; en el área centroamericana

---

<sup>3</sup> American Society for Testing and Materials

se destacan: Guatemala y Costa Rica. Estos países han acumulado experiencias y desarrollado estudios sobre el empleo de arena de trituración con excelentes resultados, algunas de estas se mencionan en el siguiente apartado.

### **1.1.1 Experiencias externas**

#### **Canteras**

- **Alemania**

Desde hace más de noventa años la empresa RWK (Rhenania Westfalia, S. A.), explota anualmente unos 3.8 millones de toneladas de caliza por año y dispone aún, después de más de 90 años de servicio, de suficientes reservas para más de 30 años de explotación<sup>4</sup>.

- **Guatemala**

En Guatemala la producción de arena triturada es prácticamente reciente, puesto que en el año de 1994, comienza la producción industrial de arena triturada de piedra caliza en la planta propiedad de Cementos Progreso S.A. como una respuesta a la necesidad de encontrar arenas de buena calidad para concreto hidráulico.

---

<sup>4</sup> Según Revista "Cantera y Explotaciones" número 278, Abril 1990.

- España

Áridos Oliva, S.A., es explotadora de dos canteras, Cantera Collado en Oliva y Cantera Peñalba, en Pego.

Las dos canteras están localizadas en un terreno geológico del Secundario y pertenecen al tramo del Neocretáceo. En la Cantera Collado se extrae roca caliza de origen sedimentario y en la Cantera Peñalba roca Caliza-Dolomítica más compactada.

En la actualidad las reservas son superiores a los 50 años y la mayoría del material se extrae de la Cantera Peñalba y se transforma en áridos y gravillas en la Cantera Collado, donde se encuentra la planta de tratamiento. Han abastecido de arena triturada a muchas empresas y proyectos.

- Brasil

"Transporte e Comercio Ltda." (TCL) es el mayor productor de arena manufacturada en Brasil. La empresa ha invertido en maquinaria para producir arena manufacturada usando trituradoras de cono y trituradoras por impacto de eje vertical, una tras otra.

La cantera de TCL está ubicada en el pueblo de Contagem, cerca de Belo Horizonte, capital del Estado de Minas Gerais. Establecida en 1978, es una de las canteras más antiguas y más importantes de la región. En 2002 esta cantera tenía una producción de 120 toneladas por hora de arena.

### **Proyectos de investigación**

- “Utilización de la Arena de Trituración” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Ing. E. Irassar, Argentina, 1991-1997.
- “Evaluación Preliminar de la Arena Manufacturada de Caliza como Agregado Fino para Concreto”, Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas, Guatemala 1994.
- “Hormigones con Arenas Trituradas” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Argentina, 1998-2000.
- “Arenas Manufacturas vrs. Naturales”, Ing. Jorge Milanés. Empresa Holcim de Costa Rica

### **Publicaciones**

- “Dosificación de Hormigones con Arenas de Trituración” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Ing. E. Irassar. 8va Reunión Técnica de la AATH – Tomo 1 – pp. 253-266, 1987.
- “Leyes Básicas para Hormigón hecho con Arena de Trituración” Ing. Joaquín Porrero, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 1990

- "Trabajabilidad de Hormigones Elaborados con Arenas de Trituración" Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Ing. E. Irassar. X Conferencia Interamericana en Tecnología de Materiales. Texas , USA pp. 9.15 a 9.19. 1989.
- "Manufactura de Arena para Hormigón", Sr. Carlos Robles, Asociación de Industrias Productoras de Agregados de Puerto Rico (AIPA).

### **1.1.2 Experiencia local**

En El Salvador no se tiene información de un uso masivo de la arena de trituración para la elaboración de concreto hidráulico, aunque se pueden mencionar algunas experiencias:

#### **Aplicación en carreteras**

La arena triturada ha tenido su mayor aplicación en el área de carreteras, específicamente en pavimentos asfálticos del cual se tienen datos desde 1977 donde el agregado triturado (sin lavar) es utilizado en las diferentes capas que lo constituyen (sub base, base y capa de rodadura).

Las empresas que construyen los pavimentos asfálticos se abastecen de la arena triturada por pedidos a las canteras (cuya principal producción es el agregado grueso) o si cuentan con un equipo de trituración, manufacturan la arena en las zonas aledañas al proyecto, haciendo uso de los materiales disponibles localmente.

En el año 2000 se diseñó el proyecto "Reconstrucción de Grandes Obras para el Sector Transporte en El Salvador Paquete II A-B San Martín-San Rafael Cedros" del Ministerio de Obras Públicas, el cual consiste en una estructura de pavimento rígido con una longitud de 21.7 Km, compuesto por cuatro capas, siendo la segunda capa concreto compactado con rodillo (CCR) conformado por grava, arena triturada, cemento y agua de mezclado.

Algunas características de la arena triturada utilizada en el proyecto son:

Tamaño máximo: 3/8".

Porcentaje de Finos: 11%.

Modulo de Finura (MF): 2.87.

Los métodos utilizados para su diseño se basaron en:

ACI<sup>5</sup> 211.1

Práctica estándar para el proporcionamiento de concreto de peso normal y peso pesado.

ACI 211.2

Práctica estándar para el proporcionamiento de concreto de peso liviano.

ACI 211.3

Práctica estándar para el proporcionamiento de concreto sin revenimiento.

---

<sup>5</sup> American Concrete Institute

Se realizaron además ensayos para determinar:

- La combinación más económica de los agregados en función del estudio de la variación de sus componentes y la resistencia requerida.
- Granulometría AASHTO<sup>6</sup> T27 y T11
- Sanidad AASHTO D-4 menor al 10%
- Equivalente de arena AASHTO T176
- Grumos de Arcilla y partícula friables AASHTO T112
- Gravedad específica y absorción ASSHTO T85.

Los problemas a los que se enfrentaron los realizadores de la mezcla fueron:

- La cantidad de polvo que contenía la arena, lo que afectaba las propiedades mecánicas del concreto. Esto se solucionó mediante un lavado en seco de la arena triturada.
- Problemas en el bombeo del concreto.
- Dificultad en realizar los acabados en superficies.

Otras aplicaciones donde se empleó concreto con arena triturada dentro del proyecto fueron:

- Mezclas asfálticas
- Concreto lanzado.
- Cordón cuneta

---

<sup>6</sup> American Association of State Highway and Transportation Officials

En el año 2002 fue inaugurada dicha vía, la cual se espera cumpla las demandas de tráfico y vida útil.

Igualmente se ha empleado arena de trituración en otros proyectos de pavimentación, entre los cuales se puede mencionar el "Paquete III, Calle a Tonacatepeque-Carretera Troncal del Norte", encontrándose en servicio actualmente.

### **Aplicación en concreto premezclado**

A partir del año 2000 algunos fabricantes de concreto premezclado han empleado como agregado fino en sus concretos, una combinación de arena natural y arena de trituración, obteniendo resultados satisfactorios.

### **Canteras**

#### *Plantel Angue, Municipio de Metapán, Santa Ana*

Inicia la manufactura de arena en Octubre de 2003 explotando un macizo de piedra caliza, con una producción de 500 toneladas, luego fue aumentando hasta 117 toneladas métricas por hora en marzo de 2004, en junio de 2004 se tenía una producción acumulada de 8,500 toneladas métricas.

La cantera provee a productores de concreto premezclado, entre otros; teniendo su mayor aplicación en pavimentos de concreto hidráulico compactado con rodillo (CCR).

*Plantel Jiboa, Departamento de La Paz*

La producción de arena triturada inicio a mediados del año 2003. En junio de 2004 se tenía un volumen de producción de 15 m<sup>3</sup>/hora, explotando roca de tipo basáltico y canto rodado, cuyas reservas no se han determinado hasta la fecha. La arena que se manufactura es de tamaño menor a 3/16" (No. 4) hasta la que pasa la malla 200 y es utilizada en su mayoría para abastecer a productores de concreto hidráulico.

*Plantel La Bóveda, Municipio El Carmen, La Unión*

La trituración de arena comienza en el año 2003, teniendo una producción variada desde entonces, la cual está influenciada por la demanda. En esta cantera se procesa tanto grava como arena, teniendo en la actualidad una producción combinada de 80 m<sup>3</sup>/hora, explotando roca de tipo basáltico. Esta cantera espera abastecer de sus productos a empresas de concreto premezclado que se verán involucradas en la construcción del Puerto Cutuco en el Departamento de la Unión.

*"La Cantera", San Diego. Departamento de La Libertad*

La producción de agregado triturado comienza en el año 1997, manufacturando agregado fino de una granulometría de tamaño máximo ¼ hasta lo que se retiene en la malla No200, conocida como grava cero o chispa. El tipo de roca

que se explota es basalto, produciendo en septiembre de 2004 en promedio 700 m<sup>3</sup> diarios.

El agregado es utilizado principalmente para microsurface<sup>7</sup> y en menor escala, como materia prima para la producción de bloques de concreto.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Gran parte de las edificaciones en nuestro país están construidas a base de concreto hidráulico, generando una demanda sustancial de los materiales empleados para la elaboración del mismo.

La explotación de bancos de arena natural como materia prima para concreto, se enfrenta con la problemática de que cada vez hay menos bancos que cumplan con la calidad requerida para ser usados en su elaboración.

De acuerdo a las conclusiones del "Estudio de la Calidad de los Agregados para Concreto en las Canteras más Importantes de El Salvador"<sup>8</sup>, las arenas naturales presentan variaciones significativas de sus propiedades en el tiempo, principalmente en aquellos bancos que se encuentran en la ribera de los ríos, ya que se ven afectadas directamente por la intensidad de sus crecidas en el

---

<sup>7</sup> consiste en una mezcla de solución asfáltica modificada con polímeros, agregados minerales, agua y otros aditivos que son tendidos sobre la superficie pavimentada.

<sup>8</sup> trabajo realizado en la Universidad de El Salvador en 1998 y 1999.

invierno alterando los procesos naturales de depositación de la arena, así como otros agentes y factores entre los que se pueden mencionar: el hombre, la descarga de desechos sólidos, aguas residuales e industriales, etc.

Así lo demuestran los registros de ensayos a compresión de cilindros de concreto en un mismo proyecto, generando grandes variaciones en los resultados, aunque sean empleados en su producción el mismo tipo de cemento y los agregados sean del mismo banco para el cual fue realizado su diseño de mezcla.

Considerando que las características de calidad de las arenas no son uniformes en el tiempo (especialmente las de río), se pretende conocer, aplicando las normativas ASTM y códigos ACI correspondientes, el comportamiento del concreto hidráulico elaborado con arena de trituración.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general:**

- Determinar el comportamiento que presentan las arena de trituración en las propiedades físicas y mecánicas en el concreto hidráulico de peso volumétrico normal y de colocación directa, como posible sustituto de las arenas naturales.

### 1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las arenas de trituración empleando las normas ASTM correspondientes.
- Elaborar dos diseños de mezcla utilizando arena de trituración y uno usando arena natural, según lo establecido en el ACI 211.1 y ACI 318 para concreto de peso normal.
- Determinar la influencia de las arenas de trituración en las propiedades del concreto en estado fresco.
- Realizar ensayos para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
- Comparar la resistencia a compresión del concreto empleando arena triturada con respecto al concreto elaborado con arena natural.

### 1.4 Alcances

Mediante la presente investigación se pretende:

- Realizar pruebas de laboratorio aplicando la norma ASTM C-33 y así, obtener información que sirva de base para determinar las características y propiedades de las arenas trituradas y arena natural procedentes de las canteras:

- Arena triturada lavada: Plantel Angue en el municipio de Metapán (Santa Ana) y Plantel Jiboa en el departamento de La Paz.

- Arena natural: Banco Cangrejera (zona baja del río Titihuapa), departamento de La Libertad.
- El agregado grueso empleado en todos los diseños de mezclas será grava totalmente triturada con tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, procedente de la Cantera San Diego en La Libertad.
- El cemento empleado en todos los diseños de mezclas será Portland tipo I según ASTM C-150.
- Se realizarán diseños de mezcla para concreto de peso normal y de colocación directa<sup>9</sup>, para una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, aplicando lo establecido en el ACI 211.1, empleando arena natural y arena de trituración.
- Para el diseño de mezclas se empleará la resistencia a la compresión requerida promedio ( $f'_{cr}$ ) según tabla 5.3.2.2 de ACI 318, debido a que no se dispone de datos estadísticos para establecer una desviación estándar<sup>10</sup> que sirva de base para el proporcionamiento de mezclas de concreto.
- La cantidad de cilindros a ensayar será como mínimo de 50 para cada diseño de mezcla, probando 10 cilindros a los 3 días, 10 a los 7 días y 30 o más a los 28 días, tomando en cuenta las recomendaciones establecidas en la sección 5.6.2.3 de ACI 318 para la aceptación o rechazo del nivel de resistencia.

---

<sup>9</sup> Entendiéndose ésta como la colocación del concreto sin empleo de equipo especial, ya sea bombas o el requerido para pavimentos.

<sup>10</sup> De los ensayos de resistencia de una mezcla de concreto con al menos 30 ensayos consecutivos según ACI 318

## 1.5 Limitaciones

- Actualmente no se cuenta con documentación que trate sobre aplicaciones o experiencias en El Salvador empleando arenas de trituración en la elaboración de concreto hidráulico, ya que, la bibliografía referente a este tema corresponde a experiencias en otros países, cuyas características de los agregados difieren con respecto a las de nuestro país.
- Debido a que se trata de una de las primeras investigaciones correspondientes a este tema tan extenso y diverso, no es posible realizar un estudio exhaustivo que genere toda la información básica del uso de las arenas de trituración, puesto que requeriría una demanda mayor de tiempo, del cual no se dispone. Por lo que existen diversas pruebas de laboratorio para la evaluación del comportamiento y calidad de las arenas trituradas, que quedaran pendientes para estudios posteriores.
- Las canteras que producen las arenas trituradas en estudio, se encuentran en la etapa de optimizar los procesos de manufactura, con el fin de obtener un pétreo de características uniformes en función al tiempo. Lo que implica que las propiedades de la arena triturada pueden variar de acuerdo al período de producción. Las muestras de arena triturada a emplear en el presente trabajo, corresponden a un periodo comprendido entre junio de 2004 hasta abril de 2005.

## 1.6 Justificación

Actualmente las normativas de calidad en la construcción requieren de materiales que cumplan con ciertos estándares de calidad; en el caso de los agregados pétreos para la elaboración de concreto hidráulico deben cumplir con la especificación ASTM C-33.

La contaminación excesiva de nuestros ríos, las variaciones de calidad que presenta la arena natural en el tiempo y los efectos que generan al medio ambiente su inadecuada explotación, precisa que se realicen tratamientos para que puedan ser utilizados en la elaboración de concreto hidráulico o emplear otro tipo de agregado fino que cumpla con las características de la arena natural cuando estos tratamientos no pueden corregir sus deficiencias, presentándose como alternativa las arenas de trituración.

Sin embargo la ausencia de información relacionada con experiencias sobre arena de trituración en El Salvador junto a las críticas externas que reciben por las dificultades que esta presenta en la manejabilidad del concreto en estado fresco debido a su forma, textura, angulosidad y por el consumo de agua que generan los finos presentes, hace que estas arenas sean marginadas. Por otra parte se tiene una cultura de miedo hacia lo nuevo o desconocido, que originan prejuicios sin fundamentos técnicos.

Lo anterior demanda que se realice una investigación que respalde técnicamente su uso como sustituto de arena natural en concreto hidráulico de peso normal.

Determinando el comportamiento del concreto empleando arena triturada, puede servir como referencia para que constructores, productores de concreto premezclado y la industria de prefabricados evalúen la factibilidad de usar este tipo de agregado en la elaboración de sus productos.

De esta manera se plantea la idea de investigar el comportamiento del concreto empleando arena triturada, ya que no existen investigaciones en el país referente a la influencia de la arena triturada local en las mezclas de concreto.

### **1.7 Metodología de la investigación**

La elaboración del presente trabajo de graduación comprende dos etapas, una teórica y la otra práctica o experimental.

En la primera etapa se realizaron entrevistas a productores de concreto premezclado y profesionales con experiencias y conocimientos referentes al tema, además se consultó material bibliográfico que sustenta este trabajo, así

como también visitas de campo para la obtención de datos y documentación que sirvió de base para la elaboración del marco teórico.

La segunda etapa comprende una serie de pasos que se detallan a continuación.

El primer paso consiste en la toma de muestras de los bancos y canteras seleccionados.

Como segundo paso se realizaron los ensayos en los agregados finos y gruesos, los cuales se mencionan a continuación:

1. Ensayos para determinar la calidad de los agregados finos triturados y naturales:
  - Muestreo de agregados finos ASTM D 75
  - Análisis granulométrico ASTM C136
  - Módulo de finura ASTM C 125
  - Gravedad específica ASTM C 128
  - Pérdida de finos por lavado ASTM C 117
  - Resistencia al desgaste ASTM C 131

2. Ensayos para el proporcionamiento de mezclas, siguiendo los lineamientos establecidos en el ACI 211.1:

Agregado grueso:

- Muestreo ASTM D75
- Contenido de humedad por secado ASTM C566
- Gravedad específica y absorción ASTM C127
- Peso volumétrico ASTM C 29

Agregado fino:

- Muestreo ASTM D75
- Gravedad específica y absorción ASTM C 128
- Módulo de finura ASTM C 125
- Peso volumétrico ASTM C 29

Como tercer paso, se realizó el proporcionamiento de mezcla de prueba empleando arena natural (considerándose el caso más desfavorable), para realizar los ajustes correspondientes de los diseños de mezclas a elaborar

En el siguiente paso se realizaron pruebas al concreto en estado fresco, tales como:

- Muestreo del concreto fresco ASTM C172
- Revenimiento ASTM C 143

- Peso volumétrico ASTM C-138.
- Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto, fabricados y curados en laboratorio ASTM C 192

El quinto paso consistió en realizar los ensayos para determinar las características mecánicas del concreto:

- Ensayo para determinar la resistencia a compresión de cilindros de concreto según ASTM C 39 (para 3, 7 y 28 días)

De esta manera se obtuvieron resultados para realizar su análisis y generar las conclusiones para esta investigación.

## **CAPITULO 2**

### **AGREGADOS PARA CONCRETO**

#### **2.1 Generalidades**

Desde el inicio de los tiempos, el hombre utiliza materiales naturales para la construcción de su hábitat y la ordenación de su entorno. La sociedad se ha ido organizando, desarrollando progresivamente el medio urbano, puentes, edificaciones y vías de comunicación, etc.

El final del siglo XIX supuso una revolución en el arte de la construcción con la aparición del cemento y del concreto. En esa misma época, la creación de las redes de ferrocarril, de la infraestructura de carreteras y de las obras públicas necesarias para franquear obstáculos, requirió de la utilización de materiales nuevos y económicos en grandes cantidades. Comienza entonces el verdadero auge de los agregados como sector productivo dependiente en gran medida de la actividad constructora.

Los agregados son un material insustituible para la sociedad actual ya que se emplea en cantidades muy importantes en todos los ámbitos de la construcción, ya sea en vías de comunicación, obras de infraestructura, edificaciones, etc.

Resulta inadmisibles imaginar la industria de la construcción sin el recurso de utilizar masivamente los agregados, que son la primera materia prima consumida por el hombre después del agua (7 toneladas por habitante por año, esto es, 19 kilogramos por habitante por día)<sup>11</sup>

Generalmente se entiende por "agregado" a la mezcla de arena y grava de granulometría variable. El concreto es un material compuesto básicamente por agregados y pasta cementicia, elementos de comportamiento bien diferenciados.

En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento aproximadamente del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en las del correspondiente concreto.

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan el 80 - 90% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

---

<sup>11</sup> Según Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA). Artículo publicado en Internet Julio 2004. Madrid España

La pasta cementicia (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa de concreto y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del concreto. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí.

Cada elemento tiene su función dentro de la masa de concreto y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

## **2.2 Tipos y clasificación de los agregados**

### **2.2.1 Tipos de agregados**

Una característica importante del concreto es su peso volumétrico, porque es índice de las propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto depende principalmente de la gravedad específica de los agregados que lo integran. Se presentan cinco diferentes clases de concreto cuyas designaciones, pesos volumétricos y usos comunes son los indicados en la Tabla 2.1.

**TABLA 2.1**  
**CLASES DE CONCRETO**

<b>CLASE DE CONCRETO</b>	<b>PESO VOLUMETRICO (Intervalo Usual, Kg/M3)</b>	<b>USO COMÚN</b>
Baja densidad	300 – 800 (*)	Aislamiento térmico y acústico, de muy baja resistencia (menos de 70 Kg/cm <sup>2</sup> ).
Ligero intermedio	800 – 1400 (*)	Uso no estructural, de baja resistencia (de 70 a 175 Kg./cm <sup>2</sup> , aprox.)
Ligero estructural	1400 - 1900(*)	Uso estructural, de mediana y alta resistencia (de 175 a 500 Kg./cm <sup>2</sup> , aprox.).
Peso normal	2200 - 2550(**)	Uso no estructural y estructural, desde baja hasta muy alta resistencia (desde menos de 70 hasta 1200 Kg./cm <sup>2</sup> , e inclusive más).
Pesado	2600 - 5500(**)	Blindaje contra radiaciones, contrapesos para puentes levadizos, y otras aplicaciones especiales con diversos requisitos de resistencia

(\*) Concreto seco al aire  
(\*\*) Concreto saturado  
FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

Esta variedad de usos da lugar a una primera clasificación de los agregados de acuerdo con su gravedad específica y correspondiente aptitud para producir concretos de las clases indicadas. En la Tabla 2.2 se incluyen los principales tipos de agregados que se utilizan en dichos concretos.

TABLA 2.2

**TIPOS DE AGREGADOS COMÚNMENTE EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETOS CON DIFERENTE PESO VOLUMÉTRICO**

Clase de concreto	Tipos de agregados
Baja densidad (300-800 kg/m <sup>3</sup> )	Vermiculita expandida; perlita expandida
Ligero intermedio (800-1400 kg/m <sup>3</sup> )	Perlita expandida; pumicita; escoria volcánica
Ligero estructural (1400-1900 kg/m <sup>3</sup> )	Pumicita; escoria volcánica; escoria de alto horno expandida; arcilla, pizarra o ceniza volante expandidas en parrillas de sinterización; arcilla, pizarra o esquisto expandidos en hornos rotatorios
Peso normal (2200-2550 kg/m <sup>3</sup> )	Arenas y gravas naturales provenientes de la desintegración y erosión de rocas por la acción del agua, el viento, el hielo, los cambios de temperatura y otros fenómenos naturales.
	Arenas y gravas manufacturadas por la fragmentación de rocas con explosivos, equipos mecánicos u otros medios similares
	La roca madre puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico. Las rocas ígneas suelen producir agregados de buena calidad física, con excepción de ciertas tobas. Las sedimentarias son más variables, pero también pueden originar agregados físicamente aptos. Las metamórficas suelen verse con alguna desconfianza en este aspecto, por lo que deben estudiarse cuidadosamente.
Pesado (2600-5500kg/m <sup>3</sup> )	Agregados manufacturados por trituración de rocas conteniendo serpentina, lircolita, goetita, barita, ilmenita, hematita, magnetita.
	Arena natural conteniendo alguno de los minerales anteriores.
	Agregados sintéticos obtenidos por procesamiento de hierro o acero, ferrofósforo y boro derretido
FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994	

Procede hacer notar que tanto los concretos ligeros como el concreto pesado, requieren de agregados especiales y tienen usos específicos que resultan fuera

del campo de aplicación que se considera convencional, en el que casi todo el concreto que se utiliza es de peso normal.

Con base en esta consideración, sólo se aborda aquí el tema de los agregados denominados de peso normal, porque son los que se utilizan en la elaboración de los concretos que con mayor frecuencia se emplean en las construcciones, en nuestro medio.

### **2.2.2 Clasificación de los agregados de peso normal**

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con gravedad específica entre 2.4 y 2.8, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2,200 a 2,550 Kg./m<sup>3</sup>.

Existen diversas características en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Las principales características que sirven a tal fin, se indican en la figura 2.1.



Figura 2.1 Clasificaciones de los Agregados de Peso Normal.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

- Por el origen de las rocas.

Una primera razón para establecer diferencia entre los agregados, se refiere al distinto origen de las rocas que los constituyen. La definición del origen y la composición de las rocas es un asunto útil y necesario, porque permite inferir ciertos aspectos relacionados con el comportamiento de las mismas al ser utilizadas como agregados en el concreto.

Por su origen geológico, las rocas se dividen en ígneas, sedimentarias y metamórficas, las que a su vez se subdividen y clasifican en diversos tipos de acuerdo con sus características texturales y mineralógicas.

*Las rocas ígneas*, o endógenas, proceden de la solidificación por enfriamiento de la materia fundida (magma) y pueden dividirse en dos grupos: las rocas intrusivas o plutónicas, que provienen del enfriamiento lento que ocurre inmediatamente abajo de la superficie terrestre, y las extrusivas o volcánicas, que se producen por el enfriamiento rápido del material que es expulsado en las erupciones volcánicas (derrames lávicos y eventos piroclásticos). Las rocas ígneas se clasifican por su textura, estructura y composición mineralógica y química, de igual modo que las otras clases de rocas.

*Las rocas sedimentarias*, como su nombre lo indica, son el resultado del proceso de transporte, depósito y eventual litificación<sup>12</sup> sobre la corteza terrestre, de los productos del intemperismo y erosión de otras rocas preexistentes; proceso que frecuentemente se produce bajo el agua, pero también puede ocurrir en el ambiente atmosférico. Su grado de consolidación puede ser muy variable, desde un estado muy compacto en antiguos sedimentos, hasta un estado prácticamente sin consolidar en sedimentos cuyo proceso es relativamente reciente o no existen condiciones favorables para su

---

<sup>12</sup> Proceso de transformación de un sedimento en una roca sedimentaria dura y compacta.

consolidación. De acuerdo con el tamaño de sus partículas, estos sedimentos no consolidados se identifican como gravas, arenas, limos y arcillas.

*Las rocas metamórficas* se forman como consecuencia de procesos que involucran altas presiones y temperaturas y de fuerzas que se generan en la corteza terrestre, cuyos efectos pueden manifestarse sobre rocas ígneas, sedimentarias e inclusive metamórficas previamente formadas. Tales efectos se traducen en alteraciones de la textura, estructura y composición mineralógica e incluso química de las rocas originales.

Las rocas metamórficas resultantes pueden ser de estructura masiva, pero con mayor frecuencia presentan estructura laminar o foliada, de manera que al desintegrarse pueden producir fragmentos con tendencia tabular, de acuerdo con su grado de foliación.

Las rocas en general se hallan constituidas por minerales cuyas características permiten reconocerlos y cuantificarlos. Aunque hay algunos casos de rocas constituidas por un solo mineral, la mayoría se hallan compuestas por varios minerales. A medida que la roca se fragmenta y las partículas se reducen de tamaño, resulta más difícil identificarla. Así, en los fragmentos con tamaño de grava se conservan la variedad de minerales, la textura y la estructura de la roca original; en las partículas de arena de mayor tamaño todavía es posible

que se conserven e identifiquen las características mineralógicas y estructurales de la roca de origen, pero en los granos de arena de menor tamaño solamente resulta factible la identificación de los minerales.

Para definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad físico-química, se acostumbra realizar el examen petrográfico (ASTM C 295) aplicando una nomenclatura normalizada como la ASTM C294 (Nomenclatura descriptiva para componentes minerales de agregados naturales)

- Por el modo de fragmentación

Los agregados para concreto de peso normal generalmente proceden de rocas cuya fragmentación pudo ser ocasionada por fenómenos naturales o inducida por medios artificiales.

En el primer caso se acostumbra decir que los agregados son naturales y en el segundo que son manufacturados (ver figura 2.2).

Hay un caso intermedio en que a los agregados se les llama mixtos porque son el resultado de la reducción de tamaño por trituración de grandes fragmentos de roca de origen natural (bloques, cantos rodados y gravas mayores).





Forma	Aridos naturales		Aridos triturados	
	Esterica	Alargada/aplanada	Cubica	Alargada/aplanada
				
Angulosidad	Redondeada		Angulosa	
Superficie	Lisa		Aspera	
Necesidad de agua	—————		Creciente	—————>
Trabajabilidad	—————		Decreciente	—————>
Compactación	—————		—————	—————>

Figura 2.2. Clasificación de los agregados por el modo de fragmentación y relación entre la forma y las características de los granos.

### *Agregados naturales*

Dado que existen numerosas fuerzas y eventos de la naturaleza capaces de ocasionar la fragmentación de las rocas, los productos fragmentados también suelen presentar variadas características como consecuencia del distinto modo de actuar de las fuerzas y eventos causantes. Esto, sumado a la diversidad de clases y tipos de rocas, da por resultado una amplia variedad de características en los agregados cuya fragmentación es de origen natural.

Algunas de las causas naturales que con mayor frecuencia producen la fragmentación de las rocas, y la denominación que usualmente se da a los productos fragmentados, se indican en la Tabla 2.3

**TABLA 2.3****ORIGEN DE LA FRAGMENTACIÓN DE LAS ROCAS Y PRODUCTO RESULTANTE**

<b>Origen de la fragmentación</b>	<b>Producto resultante</b>
Acción erosiva de las aguas pluviales, combinada con la erosión hidráulica y mecánica producida por el acarreo de fragmentos a lo largo del curso de las corrientes de agua superficiales.	Aluviones: cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas en depósitos fluviales y lacustres.
Acción expansiva del agua al congelarse, combinada con la erosión mecánica producida por el arrastre de fragmentos por medio de la nieve y el hielo en el cauce de los glaciares.	Morrenas: bloques, cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas en depósitos glaciales.
Acción erosiva del agua de mar, combinada con la erosión mecánica producida por el arrastre y acarreo de fragmentos por medio del oleaje, las mareas y las corrientes marinas.	Depósitos marinos: gravas, arenas, limos y arcillas, depositados a lo largo de las costas, formando playas.
Acción desintegrante debida al diastrofismo y al intemperismo, combinada con la erosión mecánica producida por el transporte de fragmentos por medio del viento.	Depósitos eólicos: arenas finas, limos y arcillas, que se depositan y acumulan formando dunas y médanos.
Fragmentación de la masa de roca fundida (magma) por efecto de las fuerzas que se generan en las erupciones volcánicas	Depósitos piroclásticos: grandes fragmentos, bombas y bloques, lapilli y cenizas volcánicas, que se depositan en las zonas de influencia de los volcanes, de acuerdo con la magnitud de las erupciones.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE) , México 1994.

***Agregados manufacturados***

Son producto de la trituración artificial de rocas, piedras-bolas o pedruscos grandes, del cual todas sus caras poseen aristas bien definidas y que han sido resultado de la operación de trituración.

### *Agregados mixtos*

En los agregados que se denominan mixtos, la fragmentación inicial de la roca es de origen natural y la subsecuente es inducida por medios artificiales. Es decir, se trata de reducir de tamaño por trituración, los fragmentos de roca previamente producidos por fuerzas de la naturaleza.

Existen tres principales razones por las cuales eventualmente se realiza este proceso:

1. El aprovechamiento de fragmentos naturales de gran tamaño, que de otro modo no pueden ser utilizados como agregados en el concreto.
2. La corrección de la curva granulométrica, o el aprovechamiento integral del material disponible, triturando tamaños mayores en exceso para producir tamaños menores en defecto.
3. El beneficio del material disponible, ya sea para eliminar partículas débiles de inferior calidad, o para obtener partículas parcialmente trituradas con formas menos redondeadas y superficies menos lisas, con objeto de mejorar su adherencia con la pasta de cemento.

- Por el tamaño de las partículas

Se ha dicho que el concreto hidráulico es la aglutinación mediante una pasta de cemento, de un conjunto de partículas de roca cuyas dimensiones comprenden

desde micras<sup>13</sup> hasta centímetros. Para el caso del concreto convencional, en que se utilizan mezclas de consistencia plástica<sup>14</sup>, la experiencia ha demostrado la conveniencia que dentro de ese intervalo dimensional se hallen representados todos los tamaños de partículas y que, una vez que se ha establecido mediante pruebas la composición del concreto con determinados agregados, debe mantenerse razonablemente uniforme esta composición durante la producción, a fin de que las características y propiedades del concreto resulten dentro de un marco de variación predecible.

Para mantener una adecuada uniformidad en la granulometría de los agregados durante su utilización en la elaboración del concreto, el procedimiento consiste en dividirlos en fracciones que se dosifican individualmente.

Puesto que el grado de uniformidad que se puede obtener está en función del intervalo abarcado por cada fracción, lo deseable es dividir el conjunto de partículas en el mayor número de fracciones que sea técnica, económica y prácticamente factible.

En el uso normal del concreto convencional, el requisito mínimo consiste en dividir los agregados en dos fracciones cuya frontera nominal es 4.75 mm, que

---

<sup>13</sup> Unidad de longitud que representa la millonésima parte del metro, de símbolo  $\mu$  ( $1\mu = 10^{-6}m$ )

<sup>14</sup> Comprende un rango de revenimiento de 3" a 5". Según Manual de Tecnología del Concreto, Sección II. Comisión Federal de Electricidad (CFE). México 1994.

corresponde a la abertura de la malla No 4 (según ASTM C 33) siendo la denominación y los intervalos nominales de estas fracciones como sigue:

**TABLA 2.4**

**TAMAÑOS NOMINALES DE LOS AGREGADOS**

DETERMINACION DE FRACCIONES	INTERVALO NOMINAL (mm)	MALLAS CORRESPONDIENTES (ASTM C33)
AGREGADO FINO O ARENA	0.075-4.75	No. 200 - No. 4
AGREGADO GRUESO O GRAVA	4.75 - VARIABLE(*)	No. 4 - (*)

(\*) El límite superior y el intervalo nominal del agregado grueso y la designación de la malla correspondiente, dependen del tamaño máximo de la grava que se utilice.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

También es frecuente el requisito de subdividir la grava en fracciones, cuyo número depende del tamaño máximo, no sólo con el fin de mantener uniformidad en las proporciones, sino también para evitar la segregación que se produce cuando se manejan juntas las partículas de tamaño muy diferente.

En la construcción de estructuras de concreto para edificaciones y carreteras, lo más común es la utilización de grava con tamaño máximo de 20 mm (3/4") o de 40 mm (1 1/2"), de acuerdo con las características de las estructuras que se construyen.

En cuanto a la arena, es poco frecuente especificar que se subdivida en fracciones para ser dosificadas por separado, debido principalmente a la dificultad y el alto costo que representa hacerlo con precisión en gran escala, por lo reducido del tamaño de sus partículas.

Sin embargo, para obras donde la fuente de suministro aporta una arena de granulometría muy variable, y/o se requiere un control más estricto en este aspecto, hay equipos que permiten subdividir la arena en fracciones que, aunque no resultan delimitadas con mucha precisión, se pueden volver a reunir en proporciones ajustadas para reintegrar una sola arena de granulometría más uniforme, o bien se pueden integrar dos fracciones independientes de arena que al dosificarse por separado, en proporciones adecuadas, produzcan la granulometría requerida.

### **2.3 Funciones de los agregados**

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia con la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

El esqueleto granular está formado por los agregados que son elementos inertes, generalmente más resistente que la pasta cementicia y además económicos. Por lo tanto conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un concreto resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil".

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas de agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino.

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas en el concreto al mínimo costo.

La arena tiene múltiples influencias sobre el concreto, lo que viene a constituir la importancia en el conocimiento de dicho agregado para el uso como ingrediente en dichas mezclas. La forma, el tamaño, la limpieza, la textura, dureza, etc.; son las características físicas de la arena que más interviene en la calidad del concreto.

La arena se puede considerar como el segundo<sup>15</sup> en importancia en la obtención de una mejor calidad del concreto, lo que viene a afirmar o asegurar que puede ocasionar dificultades y puede tener una participación mas decisiva en la resistencia y durabilidad del concreto que el agregado grueso; así por ejemplo la arena que tiene materia orgánica o extraña en gran proporción resulta muy perjudicial si no es neutralizada la acción de dicha sustancia.

La arena puede estar contaminada con sílice<sup>16</sup> la cual combinándose con los álcalis del cemento produce expansiones pequeñas del concreto lo que trae como consecuencia aberturas y agrietamientos que son formas de desintegración del concreto debido a agregados sucios y seriamente

---

<sup>15</sup> Se considera que el cemento es el primero en importancia en la obtención de la calidad del concreto.

<sup>16</sup> Es producto de la combinación del silicio con el oxígeno. Es muy abundante en la naturaleza y se presente en varias especies mineralógicas: cuarzo, cristal de roca, amatista, calcedonia, ágata etc.

sobrearenosos (exceso de finos) los cuales requieren relaciones agua cemento altas para obtener manejabilidades satisfactorias.

La arena tiene dos funciones importantes que desempeñar en el concreto:

1) La de actuar como un relleno de los vacíos que existen en el mismo, incidiendo en su economía.

2) La de actuar como lubricante del agregado grueso distribuyéndose en toda la masa del concreto.

La cantidad mínima de arena que llene estas dos funciones es la cantidad que deberá usarse para obtener resultados satisfactorios, ya que si se usa una cantidad mayor la superficie que deberá cubrirse con la pasta de cemento será aumentada, lo que trae como consecuencia aumento en el costo de la mezcla final del concreto.

Sin embargo cuando el agregado grueso no cumple con los requisitos de calidad especificados, se tiene que recurrir a métodos como es aumentar en gran proporción la cantidad de arena en la mezcla para obtener la resistencia necesaria y exigida.

Es de señalar que la capacidad de la mezcla para llenar totalmente los encofrados y cubrir completamente las armaduras de refuerzo con los medios de compactación disponibles, depende en gran parte del tamaño máximo del agregado grueso.

#### **2.4 Características de los agregados y sus efectos en el concreto**

El suministro de agregados para determinada obra, depende de la disponibilidad de éste recurso en el mercado local, la cual en muchos casos puede ser limitada y a veces única.

En estas circunstancias, el examen de las características de los agregados y de su influencia en el comportamiento del concreto, no sólo es útil para establecer criterios de selección entre dos o más opciones de suministro, sino también para definir y especificar los tratamientos de beneficio y acondicionamiento a que pueden someterse los agregados que presentan deficiencias, cuando por ser opciones únicas o por otra razón deben utilizarse.

A manera de síntesis, en la Tabla 2.5 se relacionan las principales características de los agregados y los correspondientes aspectos del comportamiento del concreto en que ejercen mayor influencia, tanto para el caso del concreto recién mezclado como ya en estado endurecido.

**TABLA 2.5****PRINCIPALES ASPECTOS DEL CONCRETO INFLUIDOS POR LOS AGREGADOS**

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
<i>Granulometría</i>	Manejabilidad Requerimiento de agua Sangrado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos : Economía
<i>Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)</i>	Requerimiento de agua Contracción plástica	Durabilidad Resistencia mecánica Cambios volumétricos
<i>Densidad (gravedad específica)</i>	Peso volumétrico	Peso volumétrico
<i>Sanidad</i>	Requerimiento de agua	Durabilidad
<i>Absorción y porosidad</i>	Pérdida de revenimiento Contracción plástica	Durabilidad Permeabilidad
<i>Forma de partículas</i>	Manejabilidad Requerimiento de agua Sangrado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
<i>Textura superficial</i>	Manejabilidad Requerimiento de agua	Durabilidad Resistencia al desgaste Economía
<i>Tamaño máximo</i>	Segregación, Peso volumétrico, Requerimiento de agua	Resistencia mecánica, Cambios volumétricos, Peso volumétrico, Permeabilidad Economía
<i>Reactividad con los álcalis</i>		Durabilidad
<i>Módulo de elasticidad</i>		Módulo de elasticidad Cambios volumétricos
<i>Resistencia a la abrasión</i>		Resistencia a la abrasión Durabilidad
<i>Resistencia mecánica (por aplastamiento)</i>		Resistencia mecánica
<i>Partículas friables y terrones de arcilla</i>	Contracción plástica	Resistencia mecánica Durabilidad Reventones superficiales
<i>Coefficiente de expansión térmica</i>		Propiedades térmicas

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

### 2.4.1 Composición granulométrica

Conforme se mencionó previamente los agregados se dividen, por el tamaño de sus partículas, en agregado fino y agregado grueso. El agregado fino, o arena, abarca nominalmente partículas entre 0.075 mm (Malla No 200) y 4.75 mm (Malla No 4), en tanto que el intervalo nominal del agregado grueso, o grava, comprende desde 4.75 mm (Malla No 4) hasta la dimensión de los fragmentos más grandes que contiene, cuya magnitud define el tamaño máximo del agregado en cada caso.

También se mencionó que, para las mezclas de consistencia plástica que normalmente se emplean en el concreto convencional, es deseable que dentro de esos intervalos dimensionales se hallen representados todos los tamaños de partículas, es decir, que exista continuidad en la distribución granulométrica. (Ver figura 2.3).

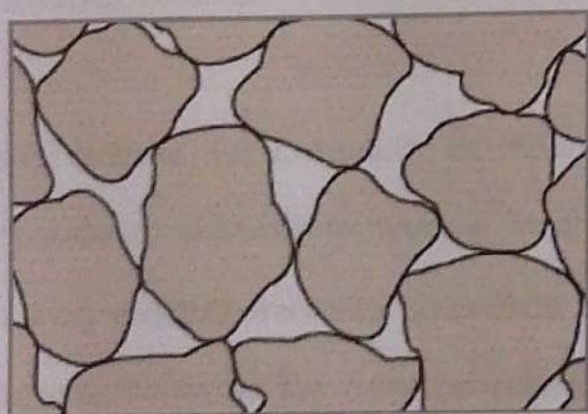


Figura 2.3A Concreto monogranular presenta un elevado contenido de vacíos; su porosidad es elevada.

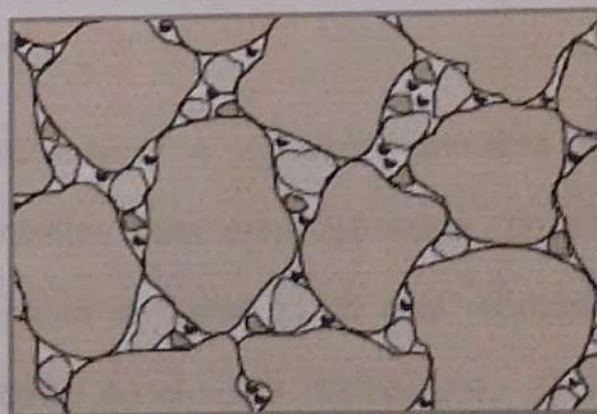


Figura 2.3B Concreto con granulometría continua, presenta un contenido de vacíos óptimo; su porosidad es reducida.

Figura 2.3.

El empleo de agregados con granulometría continua en las mezclas de concreto de consistencia plástica, es conveniente por economía y con el fin de lograr en tales mezclas una adecuada manejabilidad acorde con los procedimientos y equipos usuales de trabajo, pues la experiencia ha demostrado que a igualdad de consumos de pasta de cemento, con granulometrías continuas se obtienen mezclas de concreto más manejables que cuando existe discontinuidad en la granulometría de los agregados.

#### a) Agregado fino

El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando su módulo de finura, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie estándar. Comúnmente se considera que la arena presenta un módulo de finura adecuado para la fabricación de concreto convencional, si no es menor de 2.30 ni mayor de 3.10.

Las arenas cuyo módulo de finura es inferior a 2.30, normalmente se consideran demasiado finas e inconvenientes para esta aplicación, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En el extremo opuesto, las arenas con módulo de finura mayor de 3.10 resultan

demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas porque tienden a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y propensas al sangrado.

Sin embargo, hay obras en que estas restricciones granulométricas no pueden ser respetadas ciegamente, debido a la falta de disponibilidad de arenas bien graduadas a distancias económicamente convenientes. En tales casos, si la calidad intrínseca de sus partículas es aceptable, existe la posibilidad de utilizar arenas con deficiente composición granulométrica corrigiendo sus efectos adversos en el concreto mediante un apropiado diseño de la mezcla y el uso de aditivos minerales, inclusores de aire o reductores de agua.

En previsión de esta contingencia, no resulta prudente especificar con criterio rígido la aceptación de la arena con base en esta característica, si no de preferencia dejar abierta la posibilidad de que puedan emplearse arenas con ciertas deficiencias granulométricas, siempre y cuando no exista la alternativa de una arena mejor graduada, y se demuestre mediante pruebas que la arena en cuestión permite obtener concreto de las características y propiedades requeridas a costo razonable.

#### b) Agregado grueso

Al igual que en el caso de la arena es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica,

también los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Lo cual concede ciertas libertades para integrar la curva granulométrica de la grava total, incluso fuera de los límites granulométricos establecidos, cuando existen deficiencias de tamaños, difíciles de subsanar.

En tales circunstancias, el juicio para establecer dicha curva suele apoyarse en pruebas que demuestren la obtención de mezclas de concreto manejables y cohesivas con grava de la granulometría propuesta, y que una vez endurecido, el concreto obtenga las propiedades requeridas a un costo conveniente.

#### **2.4.2 Materiales contaminantes**

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto. Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables.

Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual se

hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

a) Limo y arcilla

El limo es el material granular fino, sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 60 micras aproximadamente, en tanto que la arcilla corresponde al material más fino, integrado por partículas que son menores de 2 micras y que sí posee propiedades plásticas.

Por lo reducido del tamaño de sus partículas, ambos materiales son indeseables en los agregados, pues incrementan el requerimiento de agua de mezclado y los cambios volumétricos del concreto; pero en igualdad de proporciones se considera más perjudicial la arcilla por su carácter plástico.

La prueba normal para cuantificar el contenido de tales finos contaminantes en los agregados, consiste en determinar la proporción de material que pasa la malla de 75 micras (No. 200 ASTM C33) mediante lavado, en cuya determinación resultan comprendidos ambos tipos de finos y también el polvo

de roca que se produce durante la trituración para producir agregados manufacturados<sup>17</sup>.

Las especificaciones usuales de agregados para concreto (ASTM C33) limitan los finos totales que pasan la malla de 75 micras, de la manera que se indica en la Tabla 2.6, con las tolerancias adicionales que se permiten cuando los finos son esencialmente polvo de roca, libre de material arcilloso.

**TABLA 2.6**

**LIMITACIÓN DE FINOS INDESEABLES EN AGREGADOS PARA CONCRETO**

Aplicación	Finos que pasan la malla de 75 micras, % máx.	
	ASTM C 33	
	Agregado fino	Agregado grueso
En agregados para concreto en general:		
a) Finos de cualquier tipo	5	1
b) Finos de fragmentos de roca, libres de arcilla	7	1.5
En agregados para concreto expuesto a la abrasión:		
a) Finos de cualquier tipo	3	1
b) Finos de fragmentos de roca, libres de arcilla	5	1.5

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

<sup>17</sup> El porcentaje de finos provenientes del polvo de roca esta restringido a un 7% por la norma ASTM C-33, y hasta un 15% por la normativa británica BS 882.

El exceso de finos indeseables en los agregados no representa un impedimento insuperable para su aprovechamiento, ya que pueden ser reducidos a límites tolerables mediante un adecuado tratamiento de lavado.

#### b) Materia orgánica

La materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse principalmente en forma de humus, trozos de madera, fragmentos de raíces y plantas. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena, ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del concreto.

Para establecer el límite máximo permisible de contaminación con materia orgánica en la arena para concreto, se aplica la llamada prueba colorimétrica (ASTM C 40) en la que se mezcla una pequeña cantidad de arena con una solución de hidróxido de sodio al tres por ciento, y se compara a las 24 horas el color resultante en la solución contra un color estándar de referencia.

Si el color de la solución resulta más oscuro que el de referencia, se interpreta como síntoma de contaminación excesiva y como causa de rechazo de la arena por este motivo.

### c) Partículas inconvenientes

Además de los contaminantes ya mencionados, hay fragmentos de materiales de calidad inadecuada que con cierta frecuencia se encuentran en los agregados, principalmente en los naturales. Entre dichos materiales inconvenientes cabe mencionar las partículas suaves y desmenuzables, como los terrones de arcilla y los fragmentos de rocas alteradas, las partículas ligeras como las de carbón y lignito y las de rocas muy porosas y débiles.

### d) Sales inorgánicas

Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden hallarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y los cloruros, principalmente estos últimos, como ocurre en los agregados de procedencia marina. La presencia excesiva de estas sales en el seno del concreto es indeseable por los daños que pueden ocasionar, si bien difieren en su forma de actuar y en la manifestación e intensidad de sus efectos.

## **2.4.3 Calidad física intrínseca**

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas, de los aspectos externos que corresponden a sus fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su gravedad específica, sanidad, porosidad y

absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

a) Peso específico

En el caso de los agregados, la determinación que se emplea para evaluar el atributo de su densidad, corresponde a la denominada gravedad específica en masa, que es el cociente resultante de dividir el peso en el aire de un cierto volumen de agregados en condición saturada y superficialmente seca, entre el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de aire, a la misma temperatura según norma ASTM C 127 (para agregado grueso) y ASTM C 128 (para agregado fino).

En términos locales, el concepto corresponde al de una gravedad específica relativa, o simplemente gravedad específica, en condición saturada y superficialmente seca, el cual no tiene unidades puesto que es el cociente de dos magnitudes con unidades iguales.

El peso específico de una roca puede ser buen índice de su porosidad, pero no necesariamente de su calidad intrínseca, pues hay rocas con gravedad específica relativamente baja que son aceptables como agregados para concreto, siempre y cuando estén sanas, y por el contrario hay rocas cuya gravedad específica se considera normal y no obstante son inaceptables para

esta aplicación por hallarse alteradas. De ahí que normalmente no se especifiquen límites de aceptación para la gravedad específica de los agregados, y que el resultado de su determinación se utilice más bien como un dato de orientación general que debe complementarse con los resultados de otras pruebas en los propios agregados y en el concreto elaborado con éstos.

El concreto denominado de peso normal es aquel cuyo peso volumétrico varía entre 2200 y 2550 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente. Partiendo de ello puede estimarse que, para obtener concretos con pesos volumétricos de ese orden, deben emplearse agregados con gravedad específica comprendida entre 2.4 y 2.8 aproximadamente, que es el intervalo usual en que se hallan las rocas que constituyen los agregados también llamados de peso normal.

De acuerdo a lo anterior, cuando el agregado manifiesta una gravedad específica menor de 2.4 aproximadamente, esto suele ser motivo suficiente para dudar de su aptitud de producir concreto con peso normal, y por consiguiente para poner en duda su calidad e indagar la causa.

Si la baja gravedad específica de la roca es una condición natural de acuerdo con su origen, y si el correspondiente peso volumétrico reducido en el concreto no es una limitación objetable, existe la factibilidad de emplear el agregado si demuestra ser capaz de producir concreto con las propiedades requeridas. Si

por otra parte, la baja gravedad específica de los agregados es atribuible a un evidente estado de alteración de la roca, en principio lo pertinente es considerarlos inaceptables, a menos que por ser opción única se justifique hacer una investigación más amplia de sus posibilidades de uso.

#### b) Absorción

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70<sup>18</sup>, C 127<sup>19</sup>, C128<sup>20</sup> y C 566<sup>21</sup> de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

Se denomina absorción a la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros saturados con agua pero la superficie del mismo está seca. Este estado se llama saturado superficie seca (SSS), siendo en esta condición como se hacen los cálculos de dosificación para elaborar concreto.

Pero el agregado puede tener diferentes estados de humedad, como se ilustra en la figura 2.4.

---

<sup>18</sup> Método de Prueba Para Determinar la Humedad Superficial en el Agregado Fino.

<sup>19</sup> Método de Prueba Para Determinar la Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Grueso.

<sup>20</sup> Método de Prueba Para Determinar la Gravedad Específica y Absorción en el Agregado Fino.

<sup>21</sup> Método de Prueba Para Determinar el Contenido de Humedad Total en los Agregados por Secado.

Si la roca o arena tienen una humedad inferior a la absorción, se debe agregar más agua al concreto para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad está por encima de la absorción, el agua a agregar al concreto será menor, ya que los agregados aportarán agua.

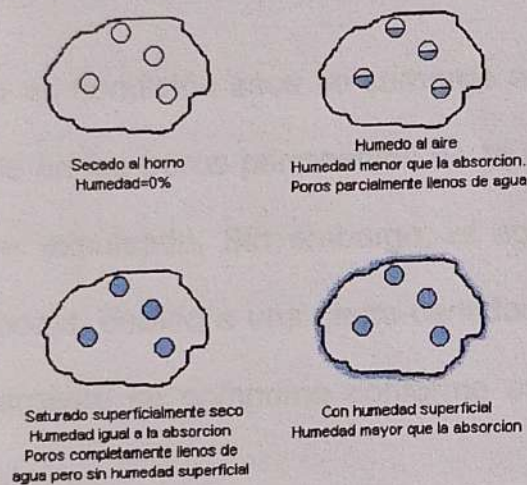


Figura 2.4. Estados de humedad de los agregados

### c) Porosidad

La medición de la porosidad de las rocas suele requerir de procedimientos relativamente complicados, por cuyo motivo no es una característica que se acostumbre determinar en los agregados, sin embargo, es posible tener una idea aproximada de la porosidad de los agregados mediante la determinación de su capacidad para absorber agua en condiciones establecidas.

La absorción se define: como el incremento en la masa de un cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables. En el caso de los agregados, la absorción se determina después de un periodo de inmersión de 24 horas en agua, conforme a los métodos de prueba ASTM C127 y C128.

Cuando el agregado en condición seca se sumerge en agua, ésta comienza a penetrar rápidamente en los poros permeables de la roca, desplazando el aire que así tiende a ser expulsado. Sin embargo, el agua no alcanza a llenar completamente los poros, debido a una cierta cantidad de aire que permanece atrapado y que solamente se comprime conforme avanza la penetración de agua a ritmo más lento.

Esto da por resultado que el agregado no se sature totalmente y continúe ganando peso en el curso del tiempo, de una manera como la indicada en la figura 2.5, lo cual también justifica porqué la absorción no puede dar una medida justa de la porosidad.

Como en el caso de la gravedad específica, las especificaciones de agregados para concreto no acostumbran fijar límites de aceptación para la absorción, debido a que ésta no sólo depende de la porosidad de la roca, sino también de otros aspectos tales como la distribución granulométrica, el contenido de finos y

el tamaño máximo, la forma y la textura superficial de las partículas. No obstante, solamente a título informativo puede decirse que, cuando las rocas constitutivas son de buena calidad y los agregados cumplen requisitos en todos los aspectos especificados, la absorción no suele exceder de 3 por ciento en el agregado grueso ni de 5 por ciento en el agregado fino.

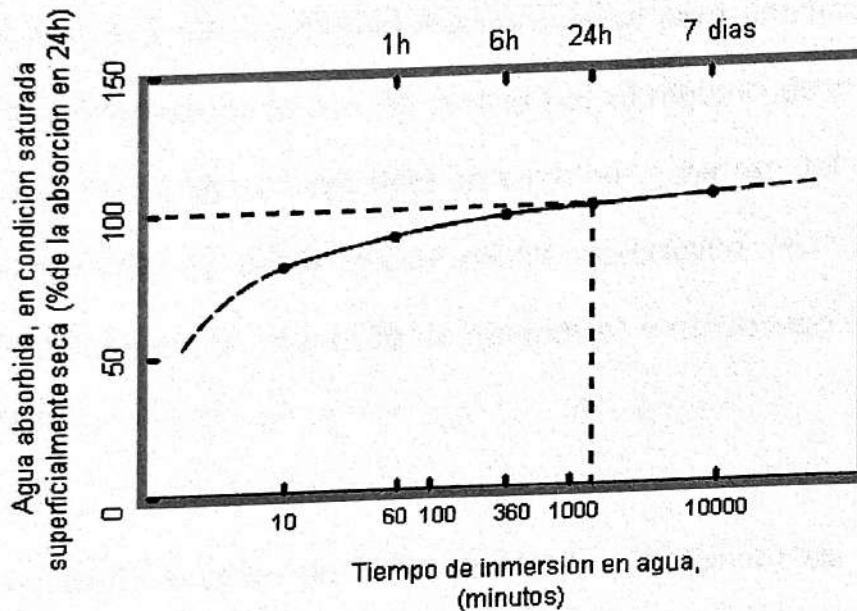


Figura 2.5. Evolución de la absorción con el tiempo de inmersión

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

#### d) Sanidad

Entre los atributos que permiten definir la calidad física intrínseca de las rocas que constituyen los agregados, tiene mucha importancia la sanidad porque es buen índice de su desempeño predecible en el concreto. En la terminología aplicable, la sanidad se define como la condición de un sólido que se halla libre de grietas, defectos y fisuras. Particularizando para el caso de los agregados, la

sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto en ciertas condiciones.

Para evaluar el grado de sanidad en los agregados para concreto, la prueba más conocida y utilizada es la que se realiza por el método de prueba ASTM C88. Esencialmente, la prueba consiste en someter muestras del agregado en sus distintos tamaños a ciclos sucesivos de saturación (en una solución saturada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio) y de secado acelerado en horno a 110°C.

Al cabo de un cierto número de ciclos (normalmente cinco) se cuantifica la cantidad de material que resultó afectado, recibiendo las fracciones por determinados tamices de acuerdo con el tamaño de las partículas ensayadas. El material que pasa estos tamices es el que se considera afectado, y su peso dividido entre el peso de la muestra original, representa el porcentaje de pérdida individual por fracciones.

Finalmente, de acuerdo con las proporciones en que intervienen estas fracciones en la composición granulométrica del agregado total, se calcula la

pérdida global, que se reporta como pérdida porcentual en la prueba de sanidad al cabo de cinco ciclos, y cuyo dato debe complementarse con un informe cualitativo del material en las condiciones después de la prueba.

Sus resultados se consideran útiles para estimar el comportamiento de los agregados al formar parte de concretos expuestos a toda clase de condiciones que ponen en riesgo su durabilidad.

La ejecución del examen petrográfico del agregado, antes y después del ensayo, es un complemento útil para la interpretación de los resultados de la prueba de sanidad, pues comparando las características iniciales de las partículas con su estado final, es posible lograr una mejor identificación de las rocas que son más susceptibles de sufrir deterioro y, en consecuencia, son potencialmente menos durables.

Por otra parte, los resultados de esta prueba no siempre se consideran concluyentes, pues las especificaciones invocadas (ASTM C 33) admiten la posibilidad de que se utilicen agregados que no la pasen, si hay antecedentes de concretos hechos con estos agregados, que hayan prestado buen servicio en condiciones similares a las previstas, o si los especímenes de concreto elaborado con tales agregados se comportan satisfactoriamente en pruebas de congelación y deshielo conducidas por el método de prueba ASTM C 666.

### e) Resistencia mecánica

De acuerdo con el aspecto general del concreto convencional, las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce contacto permanente entre ellas. En tal concepto, la resistencia mecánica del concreto endurecido, especialmente a compresión, depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que de la resistencia propia de los agregados solos.

Sin embargo, cuando se trata de concreto de alta resistencia, con valores superiores a los  $500 \text{ kg/cm}^2$ , o del concreto compactado con rodillo (CCR) en que, si se produce contacto entre las partículas de los agregados, la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la del concreto.

Haciendo referencia a los tres primeros tipos de concreto de peso normal citados en la Tabla 2.1 (Concreto para uso no estructural, estructural y de baja resistencia), que son los de uso más frecuente en la construcción, puede decirse que las rocas comunes que constituyen los agregados son más resistentes a compresión que la pasta de cemento, pues manifiestan de ordinario valores superiores a los  $700 \text{ Kg/cm}^2$ .

Tal vez por ello, en las especificaciones usuales para estos tipos de concreto sólo se acostumbra requerir que los agregados sean resistentes, sin hacer mención de un valor mínimo específico.

Por ello, el ensayo que se considera mas representativo de la resistencia mecánica de los agregados a compresión, es el que corresponde a la prueba inglesa de " resistencia al aplastamiento" (BS<sup>22</sup> 812) en la que un conjunto de partículas de 10 a 14 mm se someten confinadas a una carga de 40 ton, y después se cuantifican los finos producidos cribando el material por una malla de 2.36 mm (malla No 8).

En la práctica local, no se acostumbra realizar pruebas de esta índole a los agregados, sino más bien verificar su comportamiento en el concreto, poniendo particular atención en las condiciones de falla que se producen al ensayar a compresión o tensión los especímenes de concreto elaborados con los agregados en cuestión.

Si la resistencia del concreto es sensiblemente menor de lo predecible, en función de la relación agua/cemento utilizada, y/o si en las superficies de falla es muy notable la rotura de partículas del agregado grueso, se puede

---

<sup>22</sup> British Standard (Normativa Británica ).

interpretar como un síntoma de debilidad que debe ser motivo de mayores pruebas.

#### f) Resistencia a la abrasión

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se le considera un buen indicio de su aptitud para soportar sin daño, las acciones de quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

En términos generales, hay dos principales condiciones de servicio en que se produce abrasión sobre el concreto: las acciones abrasivas de índole mecánica, como se manifiestan en pavimentos y pisos industriales por ejemplo, y las de origen hidráulico que se generan a causa de las partículas arrastradas por el agua que fluye velozmente en contacto con el concreto, tal como puede acontecer en canales, túneles y vertedores.

La prueba con que se califica generalmente la resistencia de los agregados gruesos a la abrasión, se lleva a cabo en la máquina de Los Ángeles mediante

dos procedimientos, uno para los tamaños menores de 38 mm (ASTM C 131) y otro para los tamaños entre 38 y 76 mm (ASTM C 535). En esta prueba se cuantifica como pérdida por abrasión, la cantidad de finos que se originan como resultado de someter un conjunto de partículas de grava, a los efectos combinados del impacto y la abrasión producidos por una carga de esferas de acero dentro de un cilindro giratorio al cabo de un determinado número de revoluciones.

Las especificaciones de uso común (ASTM C 33) establecen una pérdida máxima permisible de 50 por ciento en esta prueba.

La prueba de abrasión también se aplica para detectar la presencia de partículas menos duras y resistentes, dentro del conjunto del agregado grueso. Con este fin la prueba se efectúa en dos etapas, cuantificando la pérdida al cumplirse 20 por ciento de las revoluciones y después al completarse el 100 por ciento.

Si la primera pérdida excede del 20 por ciento de la pérdida total, se considera indicativo de la existencia de una cierta proporción de partículas menos resistentes, cuya identificación puede complementarse con un estudio petrográfico de la muestra antes y después de la prueba.

### g) Módulo de elasticidad

Las propiedades elásticas del agregado grueso, son características que interesan en la medida que afectan las correspondientes del concreto endurecido, en particular su módulo de elasticidad y su relación de Poisson<sup>23</sup>.

Regularmente las rocas que constituyen los agregados son propiamente elásticas a compresión cuando son físicamente homogéneas, es decir, su gráfica esfuerzo-deformación unitaria es una recta que denota proporcionalidad entre estas variables; pero no ocurre así en el caso del concreto, cuya gráfica exhibe normalmente cierta falta de proporcionalidad debido a microfisuras y deslizamientos internos que se producen al exceder 30 por ciento del esfuerzo de ruptura aproximadamente.

En estas condiciones, aunque existe una evidente dependencia del módulo de elasticidad del concreto endurecido del correspondiente módulo de las rocas que constituyen el agregado grueso, su relación no siempre es consistente. Debido a ello y a la dificultad de medir aisladamente el módulo de elasticidad del agregado grueso, sobre todo si se trata de gravas naturales, en las especificaciones para agregados no se acostumbra reglamentar esta característica, de manera que lo usual es verificarla en el concreto hecho con los agregados que se proponen.

---

<sup>23</sup> Se define como la relación entre la deformación unitaria lateral y deformación unitaria axial de un bloque de concreto sometido a compresión uniaxial

Si el agregado grueso exhibe buenas características de gravedad específica, absorción, sanidad y resistencia, indicativas a su vez de buena calidad intrínseca de la roca, lo más probable es que permita obtener concretos con características normales de deformabilidad. De lo contrario, si hay síntomas de deficiencia en cuanto a la calidad intrínseca de la roca, puede esperarse que también se manifieste en las propiedades elásticas del agregado y en las del concreto constituido por ellos.

#### h) Propiedades térmicas

El comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, como estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados, lo procedente es verificar las propiedades térmicas que manifiesta el concreto, para tomarlas en cuenta al diseñar aquellas estructuras en que su influencia es importante.

#### **2.4.4 Forma y textura superficial de las partículas**

La forma y la textura superficial de los fragmentos que constituyen los agregados, son características que normalmente no se consideran representativas de la calidad intrínseca de la roca propiamente dicha, aunque puede haber casos en que guarden alguna relación. En tal concepto, tanto la forma como la textura superficial no suelen verse como índices de la calidad

física intrínseca de los agregados, sino más bien de su comportamiento en el concreto.

Al examinar las tendencias en cuanto a la forma de los fragmentos, es necesario considerar separadamente los agregados naturales de los que son manufacturados, ya que existen diferencias fundamentales en su proceso de fragmentación.

Por otra parte, la forma de partícula de los agregados naturales es una característica dada, en la que poco puede hacerse para modificarla, en tanto que al producir agregados mediante la trituración de roca, existe la posibilidad de influir en la forma resultante de los fragmentos. La forma de las partículas de los agregados naturales depende de diversos factores, entre los que destacan:

- 1) El estado y las características de la materia que se fragmenta,
- 2) El origen, modo de actuar e intensidad de las fuerzas de la naturaleza que producen la fragmentación, y
- 3) Las características y condiciones del proceso de acarreo de los fragmentos desde su origen hasta su ubicación final.

En cuanto a la forma que resulta en las partículas de los agregados manufacturados, los principales factores determinantes, son:

- a. Las características, propiedades y condiciones de la roca, relativas a su origen, estructura, resistencia mecánica, planos de debilidad y fracturamiento previo,
- b. Las características de los equipos de trituración, fundamentalmente en lo que se refiere al modo de actuar de las fuerzas que fragmentan la roca,
- c. El factor de reducción de tamaños, dado por la relación entre la dimensión media de los fragmentos, antes y después de pasar por el equipo de trituración, y
- d. El tamaño de las partículas que se requiere producir.

De estos factores, unos son forzosos y otros son manejables; por ejemplo, las características de la roca y el tamaño de las partículas por producir, son condiciones obligadas, en tanto que el equipo de trituración y el factor de reducción pueden ser elegidos. Es decir, conociendo la roca y las especificaciones de la obra en cuanto a los tamaños de agregados requeridos, lo indicado es diseñar un proceso de trituración por reducción gradual de tamaños, y seleccionar el equipo adecuado para cada una de las etapas de este proceso.

En términos petrográficos la textura de las rocas se califica de acuerdo con el grado de cristalinidad, el tamaño del grano y el arreglo que prevalece entre éstos. Así, hay rocas con texturas granulares (grano grueso, medio y fino),

microlíticas, vítreas, etc. En términos prácticos, y más bien de acuerdo con sus efectos en el concreto, se habla de la textura superficial de las partículas de los agregados, identificándola con su grado de rugosidad o de tersura superficial, y así se dice que hay texturas ásperas, porosas, acanaladas, lisas, etc.

La textura superficial de los agregados es una característica que puede ser modificada por el proceso de acarreo que sufren algunos agregados naturales; de cualquier modo, es una condición impuesta en cada caso, que sólo puede modificarse parcialmente cuando se producen agregados mixtos por la trituración de fragmentos naturales, que así pone al descubierto nuevas superficies de fractura.

Para tratar de establecer lo que es deseable en cuanto a la forma y la textura superficial de las partículas de los agregados, es necesario considerar los efectos que la variación de estas características puede producir en el concreto. Específicamente, debe considerarse su influencia en la manejabilidad del concreto en estado fresco y en la adherencia de las partículas con la pasta de cemento en el concreto endurecido.

La variación de forma y textura superficial en las partículas de los agregados tiende a producir efectos contrapuestos en los aspectos mencionados. Estas tendencias pueden resumirse así: las partículas de formas redondeadas y

superficies lisas como las que se encuentran en depósitos aluviales que han sufrido mucho acarreo, producen buena manejabilidad en las mezclas de concreto, pero no son propicias para lograr una buena adherencia con la pasta de cemento.

Por el contrario, las partículas de formas muy angulosas y superficies ásperas, como ocurre con algunos agregados manufacturados, son inconvenientes para la elaboración de mezclas manejables, pero favorables en lo relativo a su adherencia con la pasta de cemento.

De lo anterior podría inferirse que son igualmente indeseables los casos extremos, es decir, las partículas muy redondeadas y lisas, o las demasiado angulosas y ásperas, y que por consiguiente lo más adecuado sería una condición intermedia que optimizara ambas tendencias, como se indica esquemáticamente en la figura 2.6.

Sin embargo, esta inferencia es de carácter limitado, pues existen otros aspectos del concreto que deben tomarse en cuenta, tales como el consumo requerido de cemento y el nivel de la resistencia proyectada. Así, en condiciones ordinarias suele admitirse que, para niveles moderados de resistencia, los agregados de formas redondeadas son los que permiten lograr

mezclas de concreto, de la consistencia y manejabilidad requeridas, con los menores consumos de pasta de cemento.

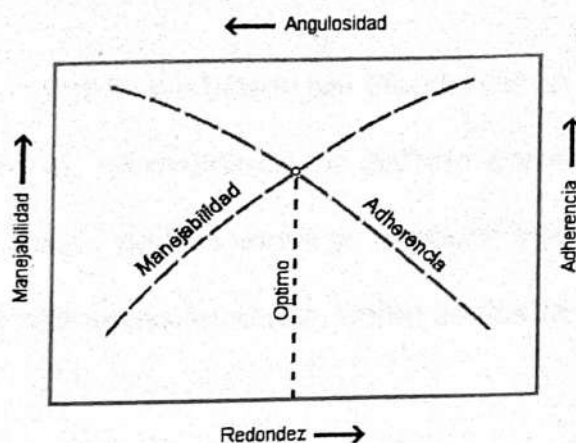


Figura 2.6. Optimización de la forma de las partículas de los agregados.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

Un criterio bastante común en este aspecto considera que, en igualdad de condiciones, son preferibles los agregados de formas redondeadas para los concretos convencionales con resistencias que no excedan valores en el orden de 200 a 250 kg/cm<sup>2</sup>.

De ahí en adelante, a medida que aumenta la resistencia requerida, es necesario prestar mayor atención a la obtención de una buena adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, buscando formas menos redondeadas y superficies más ásperas en éstos, pero tratando que las partículas sean equidimensionales, es decir, evitando las formas demasiado irregulares y

angulosas. Por ejemplo, para los concretos de muy alta resistencia, "el agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, 100 por ciento triturado, con un mínimo de partículas planas y alargadas"<sup>24</sup>.

Considerando que toda partícula puede ser inscrita en un prisma de longitud ( $l$ ), ancho ( $a$ ) y espesor ( $e$ ), normalmente se definen como partículas planas las que tienen un ancho mayor de tres veces su espesor, y alargadas aquellas cuya longitud es mayor de tres veces su ancho, como se ilustra en la figura 2.7.

La presencia de partículas planas y/o alargadas, tanto en los agregados naturales como en los manufacturados, se considera indeseable porque reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación del concreto fresco en los encofrados y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido.

Debido a ello, es frecuente que en las prácticas recomendadas y en las especificaciones de obra se limite su contenido. Por ejemplo, el Comité ACI 207<sup>25</sup> recomienda no exceder de 20 por ciento en la proporción de estas partículas en los agregados.

---

<sup>24</sup> ACI comité 363 "State of the art Report on High Strength Concrete". American Concrete Institute.

<sup>25</sup> Reporte 207.1R "Concreto Masivo".

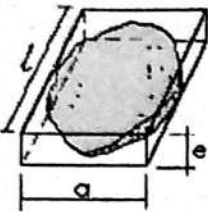
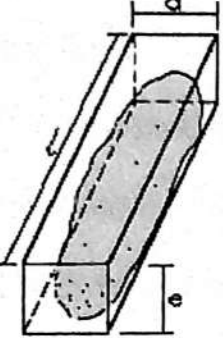
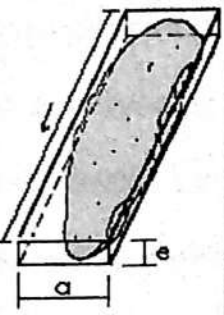
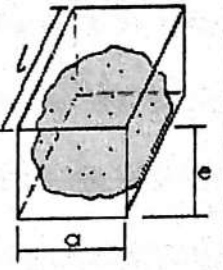
Partículas planas (lameadas)	Partículas alargadas (oblongadas)	Partículas planas y alargadas (tabulares)	Partículas equidimensionales (cúbicas o esféricas)
			
$\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} < 3$	$\frac{l}{a} > 3$ $\frac{a}{e} < 3$	$\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} > 3$	$l \approx a \approx e$ $\frac{a}{e} < 3$ $\frac{l}{a} < 3$

Figura 2.7. Definición de formas de partículas en los agregados.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

### 2.4.5 Tamaño máximo de las partículas

En un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal. El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente.

La determinación de este tamaño máximo es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito en estudio; y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado grueso ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación del concreto, para prevenir que se le incorporen partículas mayores de lo permitido, que pueden ocasionar dificultades en su elaboración, manejo y colocación.

El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, etc.

Debido a la dificultad práctica de asegurar una dimensión máxima precisa en el tamaño de las partículas durante la clasificación y el suministro del agregado grueso, es usual conceder una tolerancia dimensional con respecto al tamaño máximo nominal, pero limitando la proporción de partículas que pueden excederlo. De esta manera, no basta con especificar el tamaño máximo nominal, sino que también es necesario definir el tamaño máximo efectivo permisible y la proporción máxima de partículas que puede admitirse entre el

tamaño máximo nominal y el efectivo, es decir, lo que constituye el sobretamaño nominal tolerable.

## **2.5 Arena natural**

Geológicamente las arenas naturales, en general, son rocas pequeñas provenientes de otras más grandes ya sean ígneas, sedimentarias o metamórficas; son producto de la desintegración de las rocas, debido a la influencia mecánica del agua, del viento, a los cambios de temperatura, a la acción química que es la que transforma o disuelve los minerales componentes de las rocas.

En San Salvador y sus alrededores, la arena es de origen volcánico y se encuentra como componente de las cenizas volcánicas denominadas "tierra blanca". De manera general las capas de suelo de San Salvador, en su mayoría están formadas por limos arenosos, arenas limosas y arenas arcillosas depositadas en estratos donde el agua lluvia, especialmente, se encarga de arrastrar hacia los ríos o arenales los distintos granos de suelo para luego depositar la arena contenida y seguir transportando los limos, arcillas, etc. que son de menor peso y no alcanzan a ser depositados.

Las arenas presentan un color que depende de los minerales componentes de las mismas, de los pigmentos presentes en ellas, así como también, de acuerdo

al contenido de materia orgánica, de aquí que encontramos arena de distinto color: blanca-amarillenta, café-obscura, negruscas o grises debido a la presencia de carbono orgánico sin oxidación; este último tipo de color lo encontramos en arenas en contacto con aguas estancadas un poco agitadas.

### **2.5.1 Fuentes de agregado**

Según la época de explotación se puede dividir las fuentes de arena de origen fluvial en fuentes de invierno y fuentes de verano, siendo las primeras las que solamente se forman en invierno debido a la sedimentación o depositación de los materiales llevada a cabo después de que la lluvia se ha encargado de transportarlas a lugares determinados obedeciendo a la mecánica de depositación de las mismas.

Estas fuentes de arena de invierno sufren agotamiento debido a que la corriente de agua en el cauce desaparece en la época seca y por consiguiente el volumen de arena será menor que el obtenido de las fuentes de verano puesto que estas, además de ser explotadas en invierno, lo son también en la época de verano debido a que siempre se mantienen en constante acarreo de los materiales a causa de la corriente de agua que siempre está presente en los cauces naturales.

La presencia de materia orgánica en los sedimentos de arena puede ser aceptable o no de acuerdo a la proporción en que se encuentre, puesto que según el lugar de la fuente de arena es probable que esté contaminada, debido a que todas las aguas negras, aguas lluvias, industriales, etc. provenientes de la mayoría de las áreas pobladas del país, tienen su desagüe en los arenales o ríos.

### **2.5.2 Mecánica de la depositación de las arenas**

La sedimentación o depositación de los materiales obedece a una serie de factores, los cuales tienen su influencia sobre distintos tipos de sedimentos formados; para que haya sedimentación es necesario que haya materiales para que el transporte se ocupe de ellos así pueda trasladarlos a determinadas regiones ya establecidas de acuerdo a la velocidad ya sea del viento o del agua, que son los agentes de transporte, y al tamaño y peso de los granos transportados.

Los depósitos de las arenas en nuestro medio, son el resultado de la sedimentación de tipo fluvial, de tal manera que en estos toman participación directa para su realización, la velocidad del agua, la cual según sea su magnitud, así será el impacto del agua y del material de arrastre sobre los distintos materiales del cauce, llegando a veces a la erosión cuando la velocidad es demasiado alta.

La velocidad del agua en el cauce depende: de la pendiente de este del tipo de suelo ya que la rugosidad de este influye en forma apreciable, del perímetro mojado, del área de la sección del cauce natural. También la velocidad varía con la forma que tiene la sección del cauce aunque tengan la misma área mojada; una sección semicircular es la que menor resistencia presenta al avance del agua debido a superficie de rozamiento por unidad de sección es menor que en los demás casos.

La velocidad media también depende, como se indicó antes, de la rugosidad del cauce ya que las protuberancias o irregularidades de las paredes y del fondo del cauce determinan la magnitud de la velocidad, la cantidad de fragmentos rocosos transportados por la corriente y el tamaño de los mismos también participan en la intensidad de la velocidad.

Todas las variantes que participan en la dimensión de la velocidad están relacionadas entre sí, de tal forma que si en determinado lugar del cauce la inclinación del mismo aumenta es probable que ello provoque un aumento de la erosión trayendo como consecuencia, cambio en el tamaño y forma de la sección transversal.

Claro está, que muchos de estos factores varían en forma extrema aun en períodos cortos, especialmente el caudal el cual varía de acuerdo a las lluvias

estacionales; todos estos cambios de caudal traen como consecuencia transformaciones en la masa total y tamaño de los fragmentos los cuales llegaran a ser depositados.

El agua puede transportar sobre cauces naturales grandes cantidades de materiales variando desde los más pequeños hasta rocas de tamaño considerable, los cuales se depositan a medida que la velocidad de transporte disminuye de tal forma que la sedimentación ocurre juntamente con el transporte ya que mientras unos granos de determinado tamaño se depositan, otros siguen transportándose.

Las corrientes fuertes son capaces de acarrear materiales más pesados que las corrientes débiles, logrando de esta manera durante el transporte mayor desgaste de los materiales arrastrados puesto que se mueven en la parte inferior de la corriente de agua, también con la posible disgregación de la roca logrando de esta manera rocas de tamaño mas pequeño como son las arenas.

Una vez la roca de una dureza considerable se ha depositado, porque la corriente es incapaz de seguirla transportando, observándola podemos formarnos una idea del cauce y velocidad de la corriente.



De lo anterior se deduce que mientras haya velocidad del agua a través de un cauce natural suceden tres fenómenos de importancia que son: el transporte de los granos, la sedimentación y la erosión, todos ellos dependientes de la velocidad de la corriente y del diámetro de las partículas.

### *Erosión en la Sedimentación*

Los materiales transportados por las corrientes de agua a largo de un cauce sufren constantemente choques entre sí y contra el fondo y orillas del cauce, trayendo esto como consecuencia rompimiento de los bloques y cantos de tal forma que las esquinas agudas de los mismos desaparecen y los materiales toman forma esférica o semiesférica siendo mas perfecta cuando los materiales han sido transportados durante un trayecto largo.

Las arenas y las arcillas, después que han sufrido un transporte largo apenas presentan la forma esférica debido a la presencia de la película de agua envolvente que unida a su pequeña masa le sirve de protección de los choques violentos.

En las corrientes turbulentas, cuando están presentes las arenas y gravillas, éstas abrasionan los fragmentos rocosos arrastrados, así como también la roca constituyente del lecho, como lo podemos comprobar mediante la observación de las paredes marginales de un río. La velocidad del agua también tiene

acción de demoler, mediante la erosión, pero son las partículas duras y pesadas transportadas por el agua las que realizan el trabajo principal mediante el impacto y la fricción de las mismas.

Como podemos ver, la presencia de la erosión en el transporte de los materiales tiene importancia especial en el caso de las arenas y gravas; ya que ésta toma parte como factor decisivo en el tamaño de los granos, la cual durante las crecidas es evidente su relación con el caudal y la velocidad del agua del río, así como también con la cantidad de materiales arrastrados, para ser más tarde depositados aguas abajo.

Al examinar cuidadosamente el cauce de un río determinado durante una crecida, veremos que el agua del río posiblemente corra sobre depósitos de arenas y gravas, antes de la crecida cuando el caudal apenas alcance su intensidad normal, pero cuando éste llegue a su máximo, permitirá el movimiento de los fragmentos que llenaban el cauce barriendo también por completo con el cauce de arena, limo, etc. llegando hasta la abrasión activa sobre el suelo de roca viva.

Al disminuir la crecida, la velocidad del agua ha disminuido, y la corriente ya no podrá transportar algunos de los materiales arrastrados hasta río abajo, entonces el lecho se cubrirá nuevamente de una capa de grava y arena, de tal

acción de demoler, mediante la erosión, pero son las partículas duras y pesadas transportadas por el agua las que realizan el trabajo principal mediante el impacto y la fricción de las mismas.

Como podemos ver, la presencia de la erosión en el transporte de los materiales tiene importancia especial en el caso de las arenas y gravas; ya que ésta toma parte como factor decisivo en el tamaño de los granos, la cual durante las crecidas es evidente su relación con el caudal y la velocidad del agua del río, así como también con la cantidad de materiales arrastrados, para ser más tarde depositados aguas abajo.

Al examinar cuidadosamente el cauce de un río determinado durante una crecida, veremos que el agua del río posiblemente corra sobre depósitos de arenas y gravas, antes de la crecida cuando el caudal apenas alcance su intensidad normal, pero cuando éste llegue a su máximo, permitirá el movimiento de los fragmentos que llenaban el cauce barriendo también por completo con el cauce de arena, limo, etc. llegando hasta la abrasión activa sobre el suelo de roca viva.

Al disminuir la crecida, la velocidad del agua ha disminuido, y la corriente ya no podrá transportar algunos de los materiales arrastrados hasta río abajo, entonces el lecho se cubrirá nuevamente de una capa de grava y arena, de tal

manera que durante el siguiente período de nivel bajo, el cauce presentará más o menos la misma sección transversal antes de la crecida (ver figura 2.8).

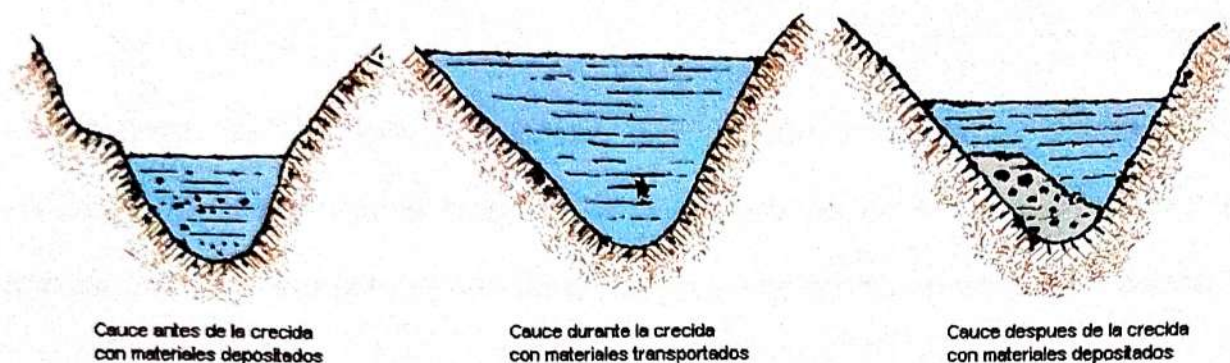


Figura 2.8. Cauce de un río antes, durante y después de una crecida

### 2.5.3 Aplicación en la industria de la construcción

Los materiales finos generalmente utilizados en El Salvador, son procedentes de ríos, éstos materiales contienen un alto contenido de pómez y consecuentemente una alta absorción.

En la zona de San Salvador el agregado fino que se usa es casi exclusivamente arena de río, la mayor parte de ella extraída principalmente del río Las Cañas, y se caracteriza por su contenido más o menos alto de partículas de pómez.<sup>26</sup>

<sup>26</sup> : "Estudio de la Calidad de los Agregados para Concreto en las Canteras más Importantes de El Salvador" (Parte I y Parte II), investigaciones realizadas en la Universidad de El Salvador en los años 1998 y 1999.

En muchos casos la arena que se extrae de los ríos no recibe más tratamiento que la eliminación de la grava por cribado. En verano, las arenas de río poseen mayor cantidad de material más fino que la malla No. 200.

Las arenas de río que no pasan por ningún tratamiento de lavado y clasificación, presentan el inconveniente de que no es posible un control de granulometría, pues esta puede variar de un punto a otro en un mismo banco.

Es por lo anterior, que cada vez la industria de la construcción, que exige el empleo de materiales que cumplan con las especificaciones requeridas, está desplazando el uso de arena de río con la explotación de bancos de mina de arena natural (o buscando otras alternativas), por tener éstas características más uniformes que las anteriores.

Aunque la calidad de las arenas de río está puesta en duda, aún sigue utilizándose como materia prima para la construcción en muchas obras, ya que resulta más económica.

En cuanto a las aplicaciones de las arenas naturales se distinguen las siguientes:

- Hechura de mortero y concreto hidráulico
- Prefabricados

- Como material de relleno
- Bases y sub-bases de carreteras
- Pavimentos asfálticos
- Lechos filtrantes
- Mejoramiento de suelos.

## **2.6 Arenas de trituración**

### **2.6.1 Características**

La tecnología del concreto debe presentar propuestas para el desarrollo e incremento de los conocimientos del concreto hidráulico con arenas de trituración, de modo tal que la difusión de los avances alcanzados pueda verse reflejados en una mayor calidad de las obras.

En la actualidad hay muchos países que se encuentran con la problemática de no contar con agregados finos naturales que cumplan con las especificaciones, o en el más exigente de los casos, existen controles gubernamentales que impiden la explotación de ciertas áreas o depósitos.

Tomando como alternativa la manufactura de arena, la industria de producción de agregados pétreos ha realizado innovaciones en los procesos de producción logrando manufacturar arena de la más alta calidad.

Las arenas trituradas han sido consideradas, por mucho tiempo, como inadecuadas para la elaboración de concreto hidráulico, y en muchos países las normativas las excluyen como materia prima.

Las principales características de estas arenas son:

- Contenido de material que pasa la malla No 200.

Las arenas trituradas presentan un elevado contenido de polvo (material que pasa la malla No. 200) que tiene la misma mineralogía de la roca origen, y su contenido generalmente excede los límites permitidos por las especificaciones. Bajo determinadas condiciones, existen evidencias que este material no modifica algunas de las características del concreto.

Cuando el concreto se encuentra en estado fresco, el polvo de roca puede aumentar el consumo de agua de la mezcla y disminuir la capacidad y velocidad de exudación (sangrado) y el contenido de aire atrapado, dependiendo del módulo de finura de la arena y el contenido unitario de cemento empleado. En estado endurecido, puede aumentar la resistencia de las mezclas con bajo contenido de cemento y la contracción por secado.

El contenido de polvo está limitado por las normas en función de su influencia sobre el consumo de agua. Para elementos estructurales no expuestos a

desgaste la norma ASTM C-33 permite hasta 7% de polvo, en tanto que la norma BS 882 propone un límite del 15%.

Con respecto a esta característica, existe un estudio denominado "Influencia del Polvo de Roca Granítica Sobre Las Propiedades de Los Hormigones"<sup>27</sup> en el que los resultados obtenidos concluyen que el empleo de hasta un 20% de polvo de roca con un óptimo factor de empaque<sup>28</sup> de los agregados, no modifica la consistencia, disminuye la capacidad y velocidad de exudación. Para el concreto endurecido, disminuye la absorción de agua, en tanto que la resistencia y el grado de hidratación se incrementan con el contenido de polvo en la arena.

Por último, el comportamiento de los concretos que se estudiaron, tanto en estado fresco como en estado endurecido, demuestra la posibilidad de usar arenas manufacturadas sin lavar. Esta conclusión implica un importante ahorro en los costos de producción de la arena y aumenta la posibilidad de su utilización.

Forma y textura superficial.

Las arenas trituradas son partículas angulosas y de textura superficial rugosa.

Estas características requieren de un incremento en el consumo de agua o de

<sup>27</sup> Investigación realizada en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), por los Ingenieros Civiles V.L. Bonavetti, O.A. Cabrera, E.F. Irassar. Brasil 1999.

<sup>28</sup> Se define por la relación entre el peso por unidad de volumen y la densidad del agregado.

pasta para alcanzar una determinada trabajabilidad en la mezcla de concreto, pero puede ser corregido mediante un estricto control durante la manufactura de arena.

El concreto elaborado con arena triturada por la angulosidad y rugosidad de sus partículas, es más difícil de bombear que el concreto elaborado con arena natural. Esto se nota especialmente en concretos con bajos contenidos de cemento, siendo una solución eficaz y económica a este problema, la mezcla de arena manufacturada con arena natural. Otra solución es agregar más cemento o cierta cantidad pequeña de finos inertes a la mezcla, siendo técnicamente una buena solución, aunque costosa.

- Características intrínsecas de la roca.

Existen muchas propiedades físicas y mecánicas de los agregados que dependen de la constitución mineralógica, estructura y procedencia de la roca origen, afectando ya sea positiva o negativamente al concreto.

La manufactura de arena de depósitos de roca caliza es bastante común en muchos países. Por ejemplo en Puerto Rico se explota roca caliza blanca, siendo este tipo de roca de fácil manejo, poca abrasión y un gran contenido de

carbonato de calcio que ha demostrado en pruebas de laboratorio que da mejor resistencia al concreto, logrando economías en el uso de cemento<sup>29</sup>.

La arena manufacturada producto de la roca caliza blanca, rica en carbonato de calcio, tiene propiedades cementicias. En pruebas de laboratorio comparativas contra la arena natural de río, alcanza una resistencia a la compresión mucho mayor que esta.

Otra característica favorable de los agregados producto de la trituración de la roca caliza blanca, es que presentan bajas contracciones o expansiones, reduciendo considerablemente los cambios de volumen en el concreto.

Otros tipos de roca utilizados en la producción de arena triturada son el basalto y granito, que por sus propiedades físicas, son muy buenas para la producción de arena triturada.

Guatemala comercializa arena triturada de roca caliza a partir del año 1994, la cual cumple con los requisitos de la norma ASTM C 33, siendo sus valores típicos los que se muestran en la tabla 2.7.

---

<sup>29</sup> "Manufactura de Arena para Hormigón". Carlos Robles. Presidente de la Asociación de Industrias Productoras de Agregados de Puerto Rico (AIPA).

**TABLA 2.7****PROPIEDADES DE LA ARENA TRITURADA DE ROCA CALIZA**

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Densidad Relativa (SSS)	2.7
Absorción de agua	0.8%
Masa Unitaria:	
Compactada	1,717 Kg/m <sup>3</sup>
Suelta	1,516 Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Finura	2.8
Finos (pasa tamiz No. 200)	4.0%
Materia orgánica	No tiene
Material de baja densidad	No tiene

Fuente: Folleto Informativo Cementos Progreso, Guatemala 2003.

En resumen la arena triturada presenta ciertas ventajas sobre la arena natural que se pueden enumerar como sigue:

1. Tienen mayor control en su producción puesto que se pueden regular los tamaños de sus partículas con ajustes en el proceso de producción.
2. Presentan mejores propiedades físicas, como son una gravedad específica mayor y un porcentaje de absorción menor.
3. La arena triturada es mas limpia y de características más uniformes.
4. No tiene materia orgánica, ni material de baja densidad (pómez).

5. Sus finos pasando la malla No 200 por lo general, al ser producto de la trituración actúan como filler<sup>30</sup> y permiten mayores resistencias.

En El Salvador no es una práctica común la utilización de arena triturada, pero en los últimos años, aunque muy lentamente, se está considerado como una alternativa de sustituto para la arena natural.

Para la realización de los proyectos paquete II y III del Viceministerio de Transporte que consistía en la ampliación y pavimentación de la carretera de San Martín a San Rafael Cedros se consideró el uso de arena triturada como agregado fino para el concreto compactado con rodillo (CCR).

Se le realizaron diferentes pruebas de laboratorio a la arena, concluyéndose que utilizando este tipo de agregado se obtiene mayores resistencias con una cantidad mínima de cemento. Además, al usar este tipo de agregado se contribuye a minimizar el impacto ambiental al evitar la explotación de los ríos.

### **2.6.2 Producción**

A continuación se indican los principales aspectos físicos que deben tomarse en cuenta y verificarse cuando se van a producir agregados manufacturados, a fin de seleccionar el equipo adecuado y prevenir el procesamiento necesario.

---

<sup>30</sup> Materia mineral reducida a polvo que se usa como aglomerante.

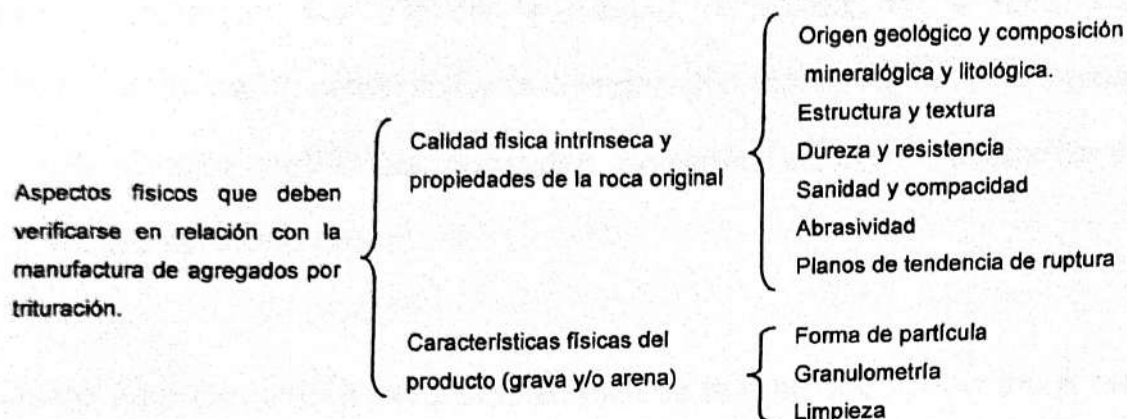


Figura 2.9. Aspectos a tomar en cuenta en la producción de agregados triturados.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

### *Calidad intrínseca y propiedades de la roca.*

La información relativa a estos aspectos se obtiene practicando el examen petrográfico a la roca en estudio (ASTM C 295<sup>31</sup>). Mediante la ejecución de este examen se definen sus características físicas y químicas, de donde puede inferirse tanto el comportamiento de la roca al ser sometida a fragmentación por trituración, como el desempeño del material fragmentado al ser utilizado como agregado para concreto.

De los aspectos de carácter físico de la roca, se tiene que distinguir entre los que son aspectos propiamente de calidad y los que representan características o propiedades de interés incidental debido al uso específico de la misma.

<sup>31</sup> Estudio Petrográfica de Agregados Para Concreto.

Entre los aspectos que definen la calidad intrínseca de la roca puede mencionarse el origen geológico y la composición mineralógica y litológica; la estructura, dureza, resistencia, porosidad, densidad, sanidad, fracturamiento y contaminaciones indeseables.

En cuanto a las características y propiedades de la roca que suelen influir en su proceso de fragmentación y en las características físicas del agregado manufacturado resultante, son importantes la estructura, textura superficial, abrasividad y la tendencia de fractura dada por los planos por donde la roca tiende a partirse (planos de laminación, estratificación o foliación, según el caso).

Si por el examen petrográfico se determina que la roca es de buena calidad intrínseca, el siguiente paso consiste en confirmarlo mediante las pruebas de laboratorio correspondientes.

Hecha esta confirmación, el proceso y los equipos adecuados para fragmentar la roca deben seleccionarse tomando en cuenta sus características y las dimensiones de los agregados que se requiere producir.

### **2.6.3 Calidad del agregado manufacturado**

Los principales aspectos físicos que son atributos de calidad en los agregados manufacturados, además de la calidad intrínseca de la roca, son la forma de partícula, granulometría y limpieza, todos los cuales dependen en alguna medida de las características del proceso y de los equipos que se utilizan para la fragmentación de la roca.

La forma de las partículas es tal vez uno de los aspectos de mayor interés cuando se producen agregados manufacturados, debido a sus importantes repercusiones en la economía, manejabilidad y comportamiento del concreto. En este aspecto tiene que ver la influencia de las características de la roca, el proceso y equipo de trituración y el tamaño de las partículas producidas.

Las rocas de estructura masiva, sin planos de tendencia de fractura, rompen mejor que las estratificadas, laminadas o foliáceas, pues éstas suelen producir fragmentos de formas tabulares indeseables.

En cuanto a los equipos hay que considerar la manera de actuar de las fuerzas que producen la ruptura de la roca: los que fragmentan la roca por compresión le permiten fracturarse con mayor libertad y esto conduce frecuentemente a fragmentos demasiado irregulares y angulosos, mientras que los que operan por impacto tienden a producir fragmentos de formas más regulares.

La influencia del tamaño de las partículas se relaciona con el *factor de reducción*, que es la relación entre la dimensión de los fragmentos antes y después de pasar por el equipo de trituración.

A medida que este factor es mayor, la forma de las partículas reducidas se vuelve más inconveniente, por lo que normalmente se recomienda efectuar el proceso de reducción en forma progresiva y por etapas que pueden consistir en una trituración primaria, secundaria, terciaria, e inclusive cuaternaria (molienda) si se trata de producir arena.

La granulometría y la limpieza de los agregados manufacturados son aspectos que, aunque también dependen de las características de la roca y de los equipos, pueden ser corregidos en cierto grado durante el proceso de fragmentación con medidas complementarias.

Entre éstas se cuenta la instalación de sistemas reguladores de alimentación a los equipos de trituración, la clasificación de los fragmentos en tamaños por medio de separación mecánica, hidráulica o neumática, y la eliminación de partículas indeseables, gruesas y finas, mediante tratamientos por impacto, abrasión, flotación, centrifugación y/o lavado.

## **2.6.4 Explotación de canteras**

### **2.6.4.1 Investigación preliminar de la cantera a explotar**

La definición de los agregados para una obra se efectúa mediante dos acciones sucesivas. La primera consiste en definir a través de las especificaciones, cuáles son los requisitos de calidad que los agregados deben cumplir y de los requerimientos específicos de las condiciones de exposición y servicio a las que el concreto se verá sometido durante su vida útil.

La segunda acción se refiere a la definición propiamente dicha de la fuente de suministro de donde puedan obtenerse agregados que satisfagan los requisitos especificados, en las cantidades necesarias y a un costo conveniente.

Así la explotación de una cantera con fines de obtener agregados para concreto, supone, por pequeña que sea la producción que se pretenda, una inversión más o menos fuerte en equipo e instalaciones, por lo que se impone hacer una investigación previa que habría de consistir en lo siguiente:

#### ***A. Requisitos especificados***

En este sentido, el procedimiento usual contempla la necesidad de realizar pruebas preliminares de calidad a los materiales de la fuente donde se pretende realizar su extracción. Sin embargo se presentan dos limitaciones al hacer esta elección: por una parte, hay ocasiones en que las opciones para escoger la

fuentes de suministro son muy limitadas, e incluso puede darse el caso de que la opción sea única, y por otra, también suele ocurrir que los agregados económicamente disponibles presenten algunas deficiencias y no satisfagan plenamente los requisitos de calidad exigidos por las normas.

Por estas razones se brinda mayor prioridad a la búsqueda de agregados de origen natural dentro del área de suministro que es económicamente justificable, pero sin dejar de considerar la posibilidad de ubicar formaciones rocosas para la obtención de agregados triturados.

A continuación se enumeran las pruebas que se recomienda hacer:

- Desgaste al impacto y abrasión (ASTM C131)
- Análisis petrográfico (ASTM C 295)
- Gravedad específica y absorción (ASTM C127 Y C128)
- Sanidad (ASTM C 88)

La primera prueba indica la dureza de la roca. Si el resultado es demasiado alto, existirá una limitación en cuanto a la resistencia del concreto en que se use. Si por el contrario, es demasiado bajo, su explotación puede resultar antieconómica debido al alto costo de extracción de la roca, hasta obtener los tamaños con que se alimenta la trituradora, y al desgaste excesivo del equipo de trituración y cribado.

Con el análisis petrográfico identificamos el material o sus componentes, y en caso de encontrar un alto contenido de compuestos que puedan reaccionar con los álcalis del cemento, se hace necesaria una investigación respecto a la reactividad potencial de la mezcla agregados-cemento, si bien el resultado de esta última tiene un valor condicional, no absoluto.

Una vez identificado el material, se puede, hasta cierto punto, predecir su comportamiento a partir del comportamiento de materiales similares o a partir de consideraciones teóricas.

Con el análisis petrográfico podemos aprovechar experiencias anteriores, siempre que estas estén bien documentadas y se refieran a materiales de la misma área geológica. Otro aspecto importante que observar, es la forma en que se fractura el material, para lo cual se tritura una muestra en una trituradora (que puede ser la de una planta ya establecida o en trituradora de laboratorio), y se obtiene así, información de la forma de las partículas y de la producción de polvo o partículas muy pequeñas.

La prueba de gravedad específica, además de evaluar una de las dos características del material en lo referente a peso relativo, nos da, aunque no en forma absoluta, un índice de su calidad, cuanto más alta mejor. Por lo general,

al determinar la densidad también se determina la absorción, que está íntimamente relacionada con la porosidad.

La cuarta prueba, para nuestro medio de menor valor por sí sola, mide la sanidad o la habilidad de un agregado para resistir cambios de volumen, y tiene gran relación con la porosidad y absorción. Los cambios de volumen pueden ser producidos por congelación y descongelación (fenómenos que no se presentan en estas latitudes); por calentamiento y enfriamiento (lo cual produce esfuerzos en cualquier material) que causa daño si el cambio de temperatura es muy grande; y por humedecimiento y secado, cuyo efecto no es muy serio.

Cada prueba o análisis de las diferentes muestras no dará un resultado único, sino una serie de valores que nos llevarán a establecer promedios o valores máximos y mínimos, pues generalmente, los depósitos no son homogéneos.

En cuanto al incumplimiento de las especificaciones, puede decirse que hay agregados que realizándoles acciones correctivas pueden hacer viable su utilización en la producción de concreto; sin embargo agregados con incumplimientos incorregibles, lo que procede es el rechazo de la fuente de suministro y la consideración de otras opciones seguramente más costosas.

### *B. Cantidad Disponible*

Es posible hacer una apreciación, ya sea por simple observación de los afloramientos de roca o por medio de perforaciones con equipo adecuado, siendo lo último lo más seguro. Esto permite hacer una estimación del volumen que se puede explotar, prever una ampliación de las instalaciones e incrementar la producción en caso de que se requiera satisfacer una mayor demanda.

### *C. Costo conveniente*

Vale la pena tomar en cuenta el acceso, ya que puede tener repercusiones económicas muy importantes: si es transitable en todas las estaciones del año, si su mantenimiento será o no excesivo, si es adecuado para los vehículos que habrán de transitar por él, si requiere modificaciones en su trazo, o si es necesario trazarlo y construirlo completamente.

#### **2.6.4.2 Obtención y procesamiento de agregados**

Existen diversas medidas que suelen realizarse a los agregados a fin de que estén en condiciones de ser utilizados, cuando en su estado original no satisfacen ciertos requerimientos de las especificaciones. De acuerdo con la acción básica que las identifica, dichas medidas pueden presentarse así:

- Explotación selectiva de bancos
- Tratamientos a los agregados

- Combinaciones con otros agregados
- Pruebas de comportamiento en el concreto
- Adecuaciones a la composición del concreto
- Uso de antecedentes de buen servicio

En lo que concierne al suministro de agregados propiamente dicho, sólo las primeras dos medidas le son aplicables, ya que las que corresponden a los otros grupos son medidas que se aplican una vez que se agotan las primeras. Es decir, si después de dar el tratamiento previsto a los agregados subsisten los incumplimientos, entonces procede considerar el recurso de aplicar algunas de las otras medidas.

#### *- Explotación*

Los agregados naturales, es decir, aquellos integrados por partículas de rocas cuya fragmentación es producida por fuerzas de la naturaleza, se localizan en depósitos o yacimientos de muy variadas características de acuerdo con la causa y modo como se originan. Esta circunstancia conduce a que con frecuencia el material depositado muestre fuertes variaciones en sus características, no solo de un depósito a otro, sino inclusive dentro de un mismo depósito.

Por consiguiente, cuando se requiere obtener agregados de un depósito natural, es necesario realizar suficientes muestreos previos que permitan establecer no solamente la calidad y cantidad del material aprovechable, sino también las condiciones de variabilidad que presenta el depósito.

En términos generales, puede considerarse que son tres los aspectos básicos que determinan la calidad de los agregados naturales, y cuyas variaciones conviene conocer anticipadamente a fin de mantenerlas bajo control: calidad de las rocas, granulometría y limpieza.

Por lo común, las características que definen la calidad física y química de los agregados naturales en un mismo depósito, tienden a variar comparativamente menos que las inherentes a su granulometría y limpieza. Por este motivo, una vez definida y aceptada la calidad de los agregados en un determinado banco, los aspectos que requieren mayor vigilancia durante su explotación corresponden a la composición granulométrica y las contaminaciones diversas.

En el aspecto granulométrico destaca la composición de la arena como característica inquietante, debido a su mayor influencia en el concreto y su mayor grado de dificultad para ser corregida, en comparación con las otras características granulométricas del banco relativas a la proporción de arena y grava y a la granulometría de ésta.

Bajo tal consideración, un criterio que tiende a prevalecer al hacer la delimitación de zonas de explotación es el que toma muy en cuenta la granulometría de la arena, tratando de evitar la extracción de arenas excesivamente finas o gruesas; lo cual no necesariamente significa que éstas deban desecharse por completo, ya que pueden quedar en reserva para su posible procesamiento por clasificación hidráulica, o su empleo combinado con otra arena que compense sus deficiencias granulométricas.

En cuanto a las contaminaciones perjudiciales que se manifiestan en los depósitos de agregados naturales, las más frecuentes corresponden a las producidas por materia orgánica y fina indeseable. En este aspecto cabe señalar que la existencia de contaminantes es una condición muy común en esta clase de agregados y que su presencia hasta cierto nivel de concentración resulta tolerable; es decir, lo que no puede tolerarse es el exceso de contaminación por arriba de determinados límites especificados.

También es pertinente mencionar que la eliminación del exceso de contaminantes hasta dejar los agregados en condiciones aceptables, casi siempre resulta factible mediante un adecuado tratamiento de lavado, por lo que la aplicación de éste se ha convertido en una práctica normal en el procesamiento de los agregados naturales.



En el caso de los agregados manufacturados, suele admitirse que sus incumplimientos de especificaciones pueden evitarse mediante la elección de una roca de buena calidad y un adecuado proceso de fragmentación que incluya el uso del equipo idóneo.

Sin embargo, para que esto se cumpla con razonable regularidad, es necesario que las características de la roca utilizada se conserven uniformes en el curso de la producción de los agregados, para lo cual se requiere ejercer un buen control que asegure la uniformidad de la roca extraída durante la explotación de la cantera.

Los sondeos previos de reconocimiento y recuperación de muestras que se realizan en una formación de roca que se pretende explotar, no solamente sirven para verificar la calidad de la roca, sino también permiten hacer una evaluación de aspectos tales como el espesor de terreno de despalme, el espesor de roca superficial alterada o costra de desperdicio, el espesor de roca sana aprovechable, la existencia de material arcilloso, etc.

Con el uso de estos datos, si la calidad de la roca es adecuada para el fin previsto, es posible delimitar las zonas más favorables de la formación y preparar un plan de trabajo para su explotación; no obstante, con cierta frecuencia esta información no resulta suficientemente ajustada a las

condiciones reales de la roca en el interior de la formación, por lo que es necesario implantar en el sitio una inspección capacitada para tomar las decisiones pertinentes en el curso de la explotación de la cantera.

*- Procesamiento de los agregados*

El procesamiento de los agregados comprende el conjunto de operaciones y tratamientos a que deben someterse los materiales extraídos del banco o la cantera, hasta ponerlos en las mejores condiciones posibles, con el propósito de utilizarlos en la fabricación de concreto.

Si después de someterse a procesamiento, los agregados resultan en condiciones que satisfacen las especificaciones, su utilización puede permitirse sin mayor trámite. De lo contrario, si a pesar de la ejecución del procesamiento previsto, los agregados todavía exhiben algún incumplimiento de especificaciones, subsiste el recurso de aplicar alguna(s) de las medidas complementarias de corrección, acondicionamiento o adecuación.

Los tratamientos que suelen emplearse al procesar los agregados, pueden considerarse como normales o especiales. Los primeros son los que se utilizan ordinariamente como parte integrante de todo proceso, en tanto que los segundos son procedimientos adicionales que se incluyen en el sistema de

procesamiento de los agregados, cuando por medio de los tratamientos normales no se alcanza a dejarlos en condiciones aceptables.

En la figura 2.10 puede observarse de manera esquemática la forma como suele desenvolverse el procesamiento de los agregados, bajo diversas condiciones de los materiales que se obtienen de los bancos y canteras.

Es pertinente observar que, si al término del tratamiento ordinario, o normal, los agregados quedan en condiciones que no satisfacen especificaciones, se presenta la posibilidad de aplicar un tratamiento adicional a los agregados para eliminar el motivo de incumplimiento, o bien intentar la aplicación de la medida complementaria con el fin de permitir el uso de los agregados en esas condiciones.

Para poder decidir lo más conveniente, es necesario hacer un análisis económico comparativo que tome en cuenta los costos de: 1) el tratamiento adicional requerido, 2) la medida complementaria que resulte apropiada, y 3) la obtención de los agregados de otra fuente de mejor calidad.

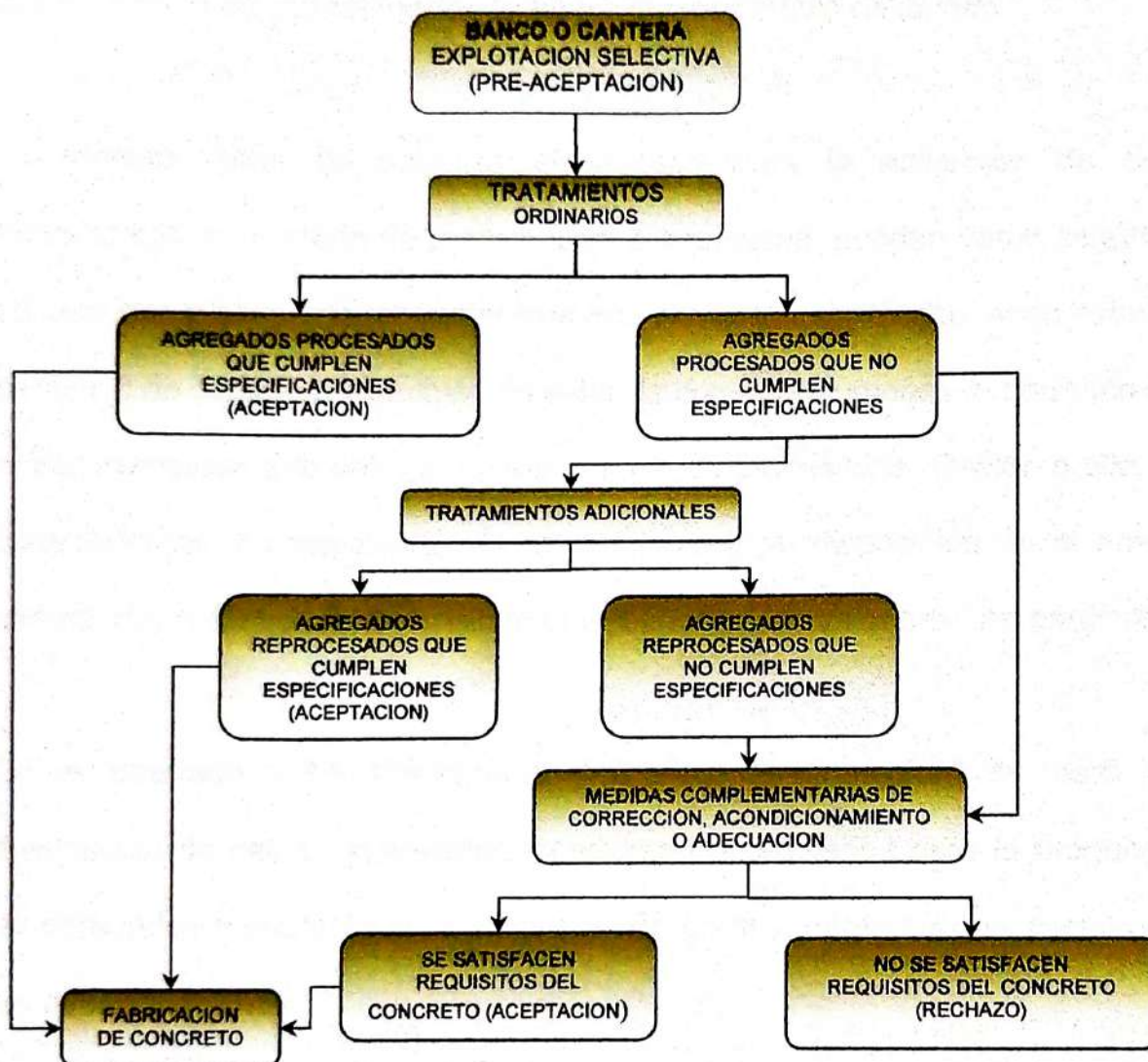


Figura 2.10. Cuadro sinóptico del procesamiento de agregados con el empleo de diversos tratamientos.

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 4. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994

### - Tratamientos Ordinarios

Los tratamientos comúnmente empleados en el procesamiento de los materiales que se obtienen de los bancos o canteras, son básicamente tres:

1. Reducción de tamaño de las partículas por trituración
2. Separación de las partículas en fracciones mediante cribado

### 3. Eliminación de contaminaciones en exceso por medio de lavado

La manera como se organiza el proceso para la aplicación de estos tratamientos, y su grado de participación e intensidad, pueden variar según las condiciones y el tipo de los materiales que alimentan el proceso, sean éstos de bancos o de canteras, y también de acuerdo con los volúmenes y requisitos que deben cumplirse a la entrega de los agregados procesados. Debido a ello, las características y capacidades de los equipos, y su disposición en el arreglo general del proceso, deben analizarse y definirse para cada caso en particular.

En el apartado 2.6.5 "Maquinaria y equipo de trituración" se hará una descripción de estos tratamientos, considerados ordinarios para la producción de agregados manufacturados limpios y con granulometría tal que cumpla con las especificaciones.

#### *- Tratamientos Especiales*

Conforme se ha dicho, hay ocasiones en que las características defectuosas de los agregados no pueden ser corregidas mediante un simple tratamiento ordinario de trituración, cribado y/o lavado; entonces subsiste como opción la posibilidad de someterlos a un tratamiento específico que sea capaz de mejorarlos en grado suficiente para lograr su aceptación.

A continuación se mencionan algunos tratamientos especiales, considerados así porque su inclusión en los sistemas de procesamientos de agregados no se hace de manera rutinaria:

- Remoción de arcilla aglutinada
- Remoción de partículas ligeras
- Remoción de partículas débiles
- División de la arena en fracciones

### **2.6.5 Maquinaria y equipo de trituración**

La reducción de tamaño de las partículas de roca por trituración, constituye la acción básica del procesamiento cuando se requiere producir agregados manufacturados, por lo cual su ejecución está presente en todas las etapas del proceso reductivo, desde la primera fragmentación de los grandes trozos de roca procedentes de la cantera, hasta la trituración final para producir las partículas de menor tamaño de los agregados; cuya última etapa, cuando se trata de producir arena manufacturada, suele denominarse molienda.

Si los materiales con que se alimenta el proceso de producción son naturales, el empleo de la trituración puede no ser indispensable, aunque con frecuencia es útil. Así, cuando se le utiliza en este caso, es con dos principales propósitos:

1) Fragmentar las partículas naturales que sobrepasan el tamaño máximo autorizado, a fin de producir gravas de tamaño aprovechable, y

2) Triturar parcialmente gravas mayores para producir gravas menores, cuando las primeras se hallan en exceso y las segundas en defecto, con el fin de mejorar la granulometría de la grava producida. Además, en ambos casos, existe el incentivo de lograr un mayor aprovechamiento del banco, al evitar los desperdicios y/o excedentes.

Como en todo proceso, al reducir de tamaño las partículas de roca por trituración debe atenderse tanto a la calidad de los agregados producidos como a su economía. En el aspecto de la calidad es motivo de principal interés la obtención de una buena forma en las partículas fragmentadas, y en el aspecto económico destaca la conveniencia de utilizar el equipo de trituración que permita lograr el mayor rendimiento al menor costo.

Con alguna frecuencia, los medios y procedimientos que conducen a la obtención de dichos beneficios producen resultados que no siguen la misma tendencia, por lo cual se hace necesario tratar de conciliar ambos aspectos.

Tanto la forma de partícula que se produce por efecto de la trituración como la economía del producto terminado, son cuestiones influidas notablemente por tres factores:

- 1) Las características y propiedades intrínsecas de la roca por triturar
- 2) Las etapas en que se hace la trituración, con sus correspondientes factores de reducción y
- 3) Los equipos de trituración que se emplean en cada etapa, considerando que, una vez definido el banco o la cantera, la roca no es sujeto de modificación, sólo puede actuarse selectivamente sobre la definición de las etapas y los equipos.

En este sentido aparece el concepto denominado *coeficiente de forma* de los agregados, el cual se define como la relación entre el volumen de un fragmento de roca ( $v$ ) cuya dimensión mayor sea "L" y el volumen de una esfera ( $V$ ) con diámetro "L". De la aplicación de esta relación puede deducirse que las partículas con forma de lascas o agujas tienen un bajo coeficiente de forma, las que generalmente son limitadas por las normas de control de calidad de agregados pétreos, ya que son partículas débiles con mucha tendencia a fracturarse.

La forma de las partículas como se ha mencionado es función del número de etapas (entre otros factores) en que se realiza el proceso de trituración, así el número de etapas en que conviene dividir el proceso de trituración depende principalmente del intervalo dimensional abarcado por éste, de modo que el factor de reducción en cada etapa (relación entre el tamaño de las partículas

que entran y las que salen del equipo de trituración) no resulte demasiado grande.

Lo anterior es muy importante ya que un factor de reducción grande daría por resultado partículas con bajo coeficiente de forma, existiendo una relación inversa entre estos dos conceptos.

El factor de reducción más conveniente suele variar en función de la naturaleza de las rocas y las características de los equipos, aunque en términos generales no es deseable que exceda de 4; así, por ejemplo, si se trata de alimentar el proceso con fragmentos de roca con tamaños hasta 300 mm (12") y se requiere producir gravas cuyo límite inferior es 5 mm, el intervalo dimensional de reducción total es de 295 mm, el cual conviene dividir en por lo menos tres etapas de trituración posiblemente delimitadas como se muestra en la tabla 2.8.

**TABLA 2.8**

**ETAPAS EN QUE CONVIENE DIVIDIR UN PROCESO DE TRITURACIÓN DE AGREGADOS**

<b>Etapa</b>	<b>Entrada (mm)</b>	<b>Salida (mm)</b>	<b>Factor Reducción</b>
Primaria	300	75	4
Secundaria	75	20	3.75
Terciaria	20	5	4

FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 4. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), México 1994.

En caso de requerirse la manufactura de arena, cuyas partículas abarcan un intervalo nominal de tamaños entre 0.075 mm (malla No. 200) y 4.75 mm (malla No. 4), sería necesario considerar una etapa cuaternaria de trituración, o de molienda, y la cual se alimentaría preferentemente con el producto de la trituración terciaria.

#### **2.6.5.1 Selección del equipo para una planta de trituración**

En cuanto a los equipos de trituración, éstos se pueden clasificar de acuerdo con el modo como ejercen y transmiten las fuerzas que producen la fragmentación de las partículas de roca.

De esta manera, hay equipos que operan por compresión, prácticamente sin confinamiento de las partículas, como las quebradoras de quijadas; otros que también actúan por compresión pero en condiciones de semiconfinamiento, como las trituradoras giratorias y de cono; y otros más cuyo efecto sobre las partículas se produce por impacto, y de los cuales existen varios tipos.

Algunos aspectos a favor y en contra relativos a la operación de estos equipos, y evaluados conforme a tendencias de carácter general expuestas a variar de acuerdo con la naturaleza de las rocas, pueden establecerse comparativamente así:

**TABLA 2.9**  
**CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS ENTRE LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN**

Conceptos	Equipos de trituración		
	Quijadas	Giratorias	Impacto
Rendimiento	Alto	Alto/mediano	Mediano
Costo de mantenimiento	Bajo	Mediano	Alto
Forma de las partículas trituradas	Mala/regular	Regular/buena	Buena

Fuente: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 4 Producción y Control del Concreto. Comisión Federal de Electricidad, México 1997.

Al seleccionar los equipos adecuados para cada etapa de trituración, también es necesario tomar en cuenta que la forma de las partículas fragmentadas tiende a empeorar conforme disminuye su tamaño. Por tal consideración, en la etapa primaria se prefieren las quebradoras de quijadas por su alto rendimiento y bajo costo de mantenimiento, sin que resulte demasiado afectada la forma de las partículas trituradas por tratarse de la obtención de las gravas de mayor tamaño.

En la etapa secundaria, en que se producen principalmente gravas de tamaños intermedios, suelen utilizarse trituradoras de cono porque concilian un buen rendimiento con un moderado costo de mantenimiento y permiten obtener partículas fragmentadas de forma aceptable.

Al pasar a la etapa de trituración terciaria, en que deben producirse los tamaños de grava más pequeños, existe el riesgo de que éstos resulten con formas inconvenientes si no se emplea el equipo apropiado, por lo cual la decisión oscila frecuentemente entre una trituradora de cono y una de impacto, dependiendo (entre otros factores) de la tendencia de fractura de la roca.

Por último, cuando se pretende producir arena manufacturada, la forma resultante de las partículas, la composición granulométrica y la cantidad de finos indeseables producidos, son aspectos que adquieren importancia relevante, por cuyo motivo se justifica que la selección del equipo se realice con base en las características específicas de la roca por triturar.

En términos genéricos, la producción de la arena debe hacerse en una cuarta etapa de reducción alimentada con material terciario (preferentemente), mediante los denominados molinos de arena que operan conforme a diversos principios y mecanismos, y cuya elección conviene apoyarla en la ejecución de pruebas a escala industrial con la roca dispuesta.

*- Características y aspectos a considerar para la selección del equipo de trituración.*

La selección del equipo para una planta de trituración debe tomar en cuenta:

- a) Tipo de roca y tamaños con que se alimentará la planta

- b) Conformación del banco y topografía del lugar
- c) Producción requerida
- d) Tamaños que se pretendan producir

Con los aspectos antes mencionados pueden evitarse daños en el equipo de trituración, principalmente si se consideran propiedades de las rocas como el grado de dureza y abrasividad.

Se tratará, en lo posible, de aprovechar la topografía del sitio donde se instalará la planta, para que el sistema trabaje por gravedad, evitándose así el uso de transportadores. El sistema por gravedad tiende a favorecer la segregación, por lo cual deberán tomarse las precauciones del caso.

En cuanto a la trituradora primaria, deberá tomarse en cuenta la clase de roca, el tamaño máximo económico con que se puede alimentar y la producción requerida, considerando que las quijadas corrugadas contrarrestan parcialmente la producción de piezas planas y alargadas, cuando se tiene una roca en la cual sea esta la tendencia o cuando se trata de roca lajosa.

La trituradora secundaria, que puede ser de los tipos de cono, rodillos, impacto o martillos, la que servirá para triturar los tamaños mayores que

produce la primaria. La trituradora primaria podría servir para producir los tamaños requeridos con sólo ajustar la abertura inferior de las quijadas, pero esto daría por resultado desgaste excesivo de las quijadas, más una producción grande de finos y polvo de roca.

Para contrarrestar estos inconvenientes resultan aceptables para la etapa secundaria las trituradoras de rodillos porque son relativamente simples y tienden a producir pocos finos, aunque es muy popular el empleo de trituradoras de cono.

Una vez seleccionados los tipos de trituradora para la etapa primaria y secundaria, resta determinar su capacidad, la cual, deberá estar de acuerdo con la producción requerida. Lo fundamental, es resolver el problema para combinar las capacidades de la trituradora primaria y secundaria para obtener la producción y granulometrías requeridas.

Para ello se puede echar mano de los catálogos de los fabricantes de los equipos, considerando que en estos solamente aparecen las capacidades de producción de cada trituradora.

Con el uso de alimentadores mecánicos se evitan obstrucciones de los equipos de trituración o cribado, ya que esto último trae consigo la disminución de

eficiencia y daño o desgaste excesivo de los mismos.

También se deberán evitar las caídas libres muy altas en los puntos de descarga del agregado porque producen segregación o fractura de las partículas, dando así excesivos finos. Cuando sean necesarias bajadas de gran altura, es aconsejable el uso de bajadas escalonadas.

#### **2.6.5.2 Equipo para plantas de trituración según la etapa de reducción de material**

Para la transformación de los agregados, en agregados limpios y de granulometría requerida, se cuenta con equipo de trituración y equipo complementario, el cual no participa directamente en las operaciones de trituración pero que son indispensables para realizar los procesos necesarios en la transformación del material.

Prácticamente el equipo de trituración no ha sufrido cambios, lo que se ha ido modernizando es el equipo complementario, incrementando la eficiencia de las plantas procesadoras de agregados pétreos. Hasta la fecha, no se ha diseñado una máquina universal que en un solo paso convierta el material en agregado útil, sino que dicha transformación se deberá realizar en varias etapas de acuerdo con el material disponible y con las especificaciones que deban cumplirse.

Todas las máquinas de trituración tienen como común denominador, la reducción de tamaño de los materiales pétreos, para ello aplican esfuerzos mecánicos a la roca como impacto, desgaste, corte y compresión hasta provocar su ruptura o falla.

Las trituradoras pueden clasificarse en primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, de acuerdo a las funciones que desempeñan en una planta, como se muestra en la tabla 2.10.

**TABLA 2.10**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN SEGÚN LA ETAPA DE REDUCCIÓN**

Etapa	Equipo de Trituración
Trituración Primaria	De Quijadas Giratoria
Trituración Secundaria	De Cono De Rodillos Doble De Martillo
Trituración Terciaria	De Cono "FC" <sup>32</sup> o cabeza corta De Rodillos Triple De Martillo
Trituración Cuaternaria	De Cono "VFC" <sup>33</sup> o "Gyradiscs" Molinos de Barra Molinos de Bola Pulverizadores

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.  
Autor Ing. Pedro Luis Benítez Esparza. FUNDEC 1986.

<sup>32</sup> Fine Crushing (trituración fina)

<sup>33</sup> Very Fine Crushing (trituración muy fina)

El equipo complementario a su vez, puede dividirse de la siguiente manera:

- Equipo para transportar, depositar y distribuir
- Separadores de partículas (cribas)
- Equipo de lavado

#### **2.6.5.2.1 Trituración primaria**

Es la primera etapa de reducción de los materiales pétreos, en ella se convierte el material producto de la explotación del banco a fragmentos entre 12" y 4".

Existen varios tipos de máquinas capaces de ejercer esta reducción, siendo las más importantes las de quijadas y las giratorias.

##### *1. Trituradora de Quijadas*

Es la que se utiliza para realizar la primera etapa de reducción de los materiales pétreos en prácticamente todos los casos, ya sean plantas móviles o fijas. El trabajo de estas trituradoras sobre los agregados es principalmente por impacto y compresión.

Las trituradoras de quijadas se designan en base al ancho y longitud del rectángulo que constituye la boca de admisión expresado en pulgadas, siendo las más comunes: 10" x 16", 10" x 21", 10" x 30", 12" x 36", 15" x 24", 20" x 36", 25" x 40", 30" x 42", 36" x 46", 44" x 48", 50" x 60" y 66" x 84".

Consiste esencialmente en dos quijadas o planchas de acero al manganeso, colocadas en tal forma que la distancia entre ellas disminuye de arriba hacia abajo, siendo una de estas quijadas fija y la otra móvil. La quijada móvil es capaz de ejercer una presión lo suficientemente fuerte como para triturar la roca.

A continuación se muestra un esquema con sus principales componentes.

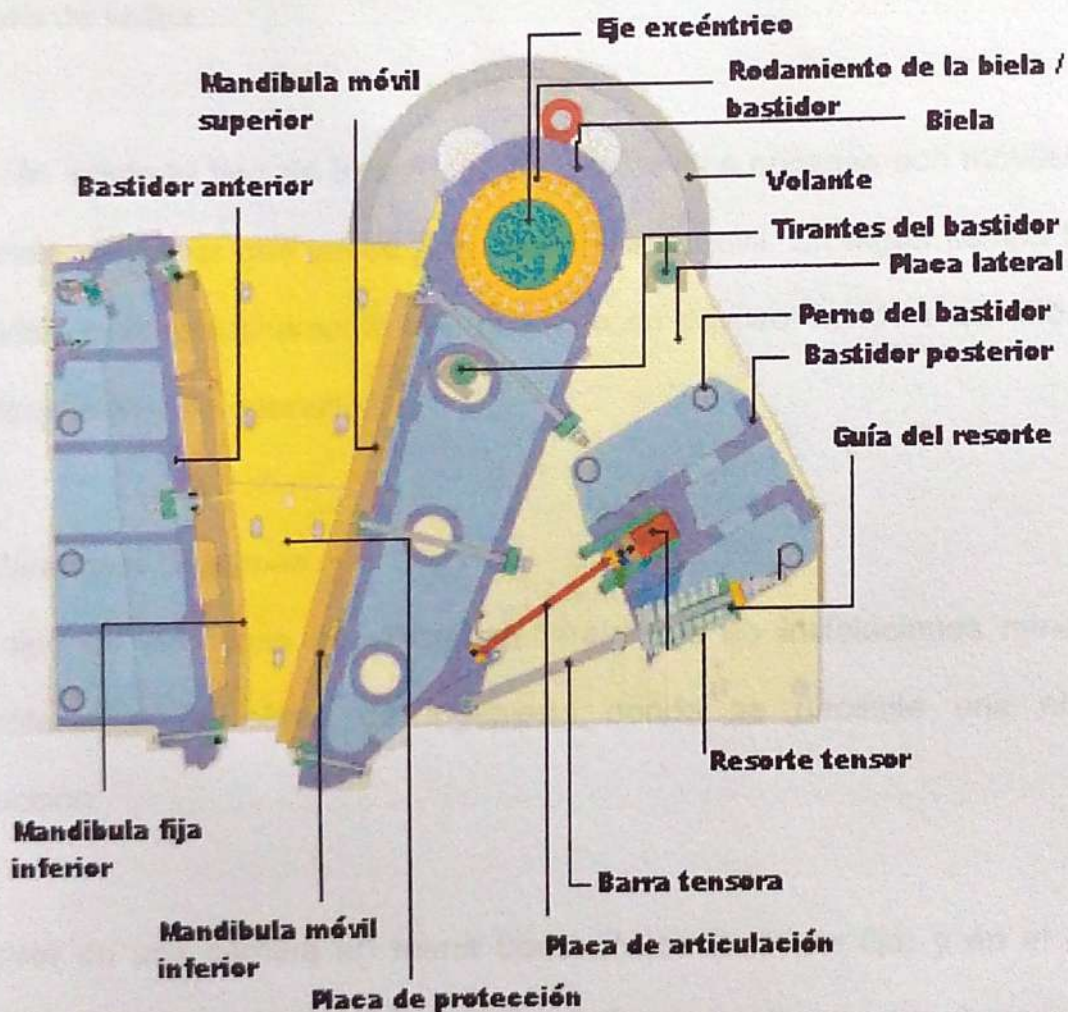


Figura 2.11. Componentes principales de una trituradora de quijadas.

Las quijadas pueden ser planas o cóncavas, lisas o corrugadas, siendo las corrugadas las indicadas cuando se tiene roca con tendencia a fracturarse en piezas planas y alargadas o cuando es roca lajosa.

La trituradora de quijadas es una máquina que se diseñó a principios del siglo XX y que en realidad a sufrido pocos cambios, pudiéndose señalar entre ellos la lubricación automática a base de aceites y la regulación hidráulica de la abertura de salida.

También existe el tipo de trituradora en que las dos quijadas son móviles y su eficiencia es mayor que las de una sola quijada móvil. En algún tiempo fueron utilizadas, pero prácticamente han quedado en desuso debido a su alto costo de adquisición y de operación.

## *2. Trituradoras Giratorias*

Este tipo de máquinas se utilizan generalmente en instalaciones mineras y cementeras o en obras de ingeniería donde se necesite una elevada producción.

Consiste en una cámara en forma troncocónica (bastidor fijo) y en el centro también un cono o cabeza pero en sentido inverso apoyado en un mecanismo excéntrico, por lo que al girar hace variar el espacio entre el bastidor y la

cabeza mediante un movimiento de campaneo, causando así la trituración de la roca por efectos de impacto y compresión. Tanto la cámara cónica como la cabeza están recubiertas de planchas de acero al manganeso.

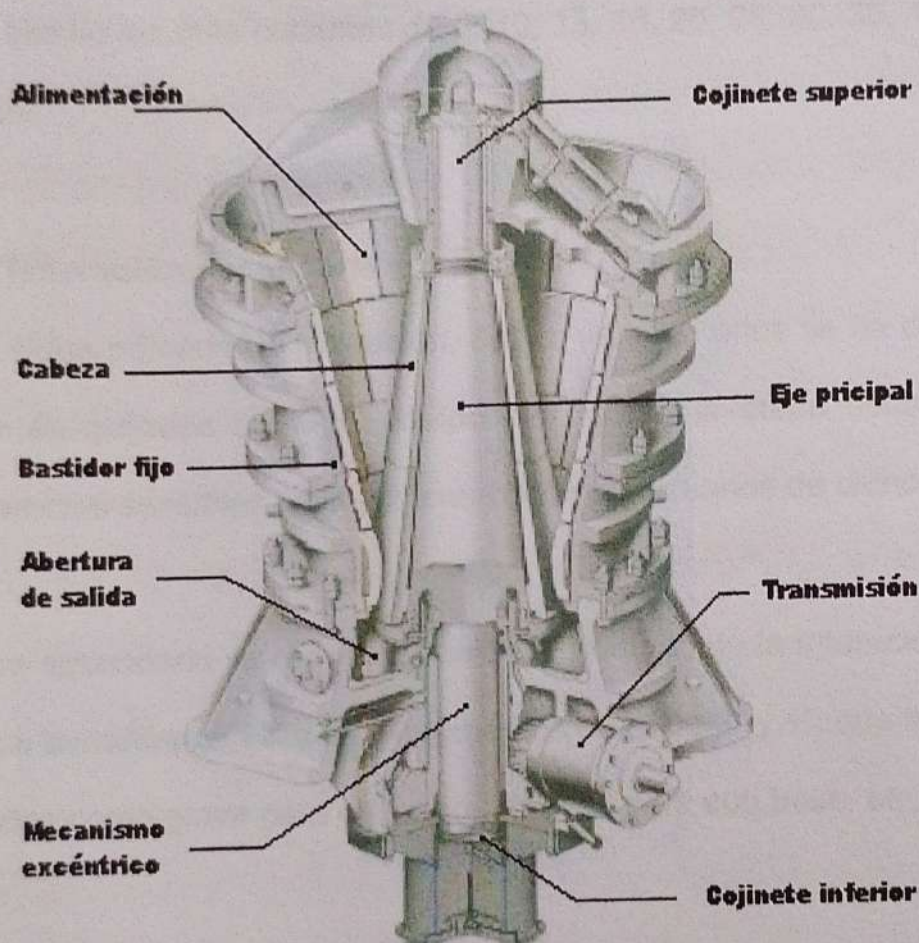


Figura 2.12. Corte esquemático de una trituradora giratoria mostrando sus principales componentes.

Estas máquinas como ya se mencionó tienen una gran capacidad de producción, pero por otro lado presentan el inconveniente de ser muy pesadas, muy costosas y con dimensiones en su altura superiores a los cinco metros, lo

que las hace poco prácticas para instalarse en grupos móviles o plantas portátiles.

El tamaño de este tipo de trituradora se designa por el diámetro de admisión en pulgadas, siendo las más comunes de 8, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 36, 42, 48, 54 y 60 pulgadas.

#### **2.6.5.2.2 Trituración secundaria y terciaria**

Si bien la etapa primaria de trituración, desde ya hace años se ha definido a la trituradora de quijadas como el equipo idóneo, en la etapa secundaria han existido cambios sensibles en la preferencia de los usuarios de dichos equipos.

En la etapa secundaria se reduce el material producto de la trituración primaria, es decir, de tamaños de 12" a 4" a fragmentos de entre 3" y 1", que bien podrían ser utilizados como grava para concreto, material para sub base, etc.

Las máquinas comúnmente empleadas son las trituradoras de cono, de impacto, de martillo y de rodillo.

##### **1. Trituradora de Rodillos**

Este tipo de trituradoras de mecánica simple utiliza los efectos de compresión y corte para efectuar la reducción de tamaño del agregado pétreo. Son muy

usadas para reducir los tamaños de agregado que ya han sufrido alguna reducción por trituración.

Consisten en un marco en que dos rodillos de acero están montados en ejes horizontales separados. La distancia entre estos rodillos puede regularse y es la separación entre los rodillos la que controla el tamaño máximo de la alimentación de estas trituradoras. Los rodillos pueden ser lisos o corrugados; o uno liso y otro corrugado.

En el pasado este era el equipo más popular, hoy en día su utilización a quedado reducida al tratamiento de materiales suaves y poco abrasivos como son: caliza, carbón y yeso; debido a que con rocas altamente abrasivas, el desgaste que se presenta en la superficie cilíndrica de los rodillos hace que se tengan altos costos de mantenimiento, presentándose también las siguientes limitaciones:

- El diámetro de los rodillos debe ser de 20 a 30 veces mayor al tamaño de los fragmentos en la alimentación para que pueda aprisionarlos y triturarlos.
- La producción es directamente proporcional al ancho de los rodillos. Sin embargo un ancho demasiado grande, provoca desgaste irregular y rápido, más fuerte en el centro que en los extremos.

El factor de reducción que se logra con estas máquinas es relativamente bajo (3 como máximo) debido fundamentalmente a las limitaciones que se tienen en los tamaños de los alimentadores. Tratando de disminuir este inconveniente, se introduce un tercer rodillo, obteniendo una máquina que puede trabajar con mayor factor de reducción, siendo más costosa en inversión inicial y en operación.

Los rodillos pueden ser lisos o corrugados, produciendo material fino los primeros y los segundos no lo producen tan fino pero admite tamaños mayores. El coeficiente de forma del material triturado en los rodillos es por regla general bajo, con una gran tendencia a formar muchas lascas en cierto tipo de rocas.

Por los motivos anteriormente descritos, en muchas instalaciones de producción de agregados, las trituradoras de rodillo han venido siendo sustituidas por otro tipo de máquinas, limitándose el uso de las mismas al proceso de ciertos materiales suaves y poco abrasivos como se había mencionado anteriormente.

El tamaño de estas máquinas se designa por dos cifras, diámetro del rodillo por ancho del mismo, generalmente en pulgadas. Los más usuales son: 24 x 16, 40 x 30, 30 x 26 en rodillo simple y 24 x 30, 24 x 40, 24 x 50, 24 x 60 y 30 x 40, 30 x 50, 30 x 60, 30 x 72 en rodillo triple.

## 2. Molinos de Impacto y de Martillos

Tanto las trituradoras de impacto como las de martillos, utilizan básicamente el efecto de fuertes impactos de la roca contra las placas del bastidor (cámara de trituración), impulsados por uno o dos rotores que están girando a elevadas revoluciones por minuto.

Consisten esencialmente en una cámara con un eje horizontal al centro y a través de la cámara. A este eje van asegurados una serie de brazos con martillos, como puede apreciarse en la figura 2.13.

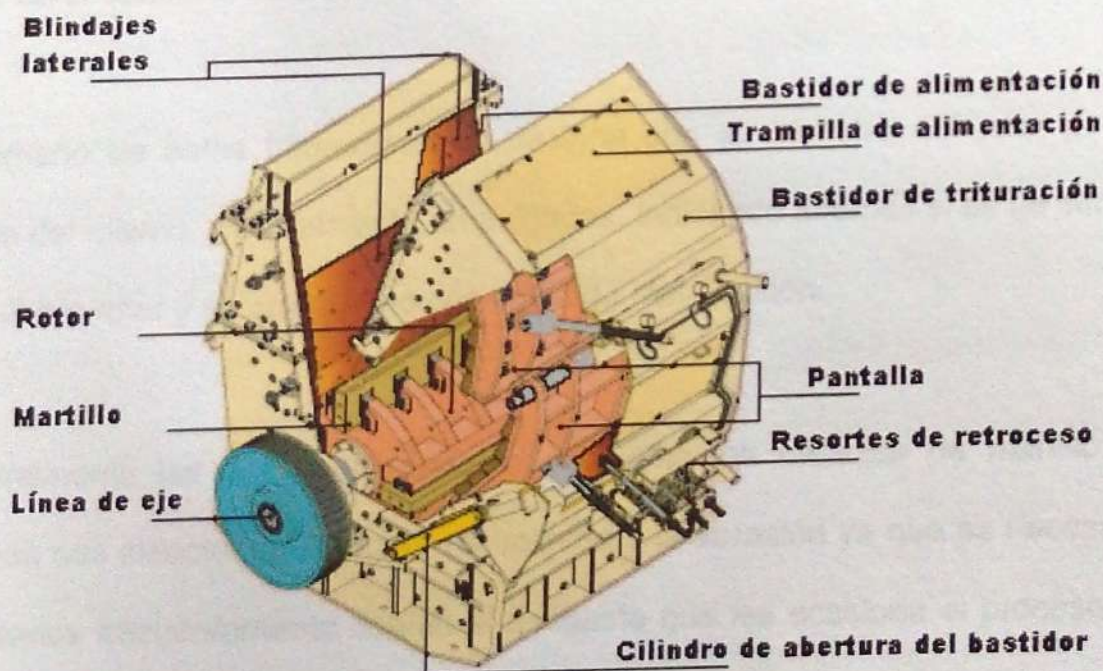


Figura 2.13. Componentes principales de un molino de martillos.

En el interior de la cámara hay planchas para impacto y son de acero al manganeso u otra clase de acero duro. Son también importantes las barras que forman una parrilla a través de la cual pasa la roca triturada y son las que determinan el tamaño máximo de las partículas.

Con este tipo de máquinas se obtiene material cúbico de elevado coeficiente de forma. Desgraciadamente no son adecuadas para procesar rocas con más de 6 % de contenido de sílice ( $\text{Si O}_2$ ) por el fuerte desgaste que sufren sus martillos y barras de impacto, siendo aconsejable su empleo para procesar calizas, dolomitas, yesos, asbestos y en general todo tipo de minerales no abrasivos, pues de lo contrario se elevan sus costos de mantenimiento.

El tamaño de estas trituradoras se designa con el diámetro del rotor por el ancho del mismo, generalmente en pulgadas, indicando además si es de simple o de doble rotor y si cuenta o no con rejilla de clasificación.

Generalmente las barras de impacto así como las cabezas de martillo se fabrican con aleaciones de acero resistentes a la abrasión ya que es necesario cambiarlas frecuentemente debido al desgaste que les ocasiona el proceso de trituración.

En el caso de las trituradoras de impacto como se ha mencionado, imparten efectos de impacto a la roca mediante un rotor que las impulsa hacia las paredes del bastidor (cámara) generando su trituración, o bien generando una acción trituradora de roca contra roca, contando en este caso con dos alimentaciones tal y como se muestra en la siguiente figura 2.14.

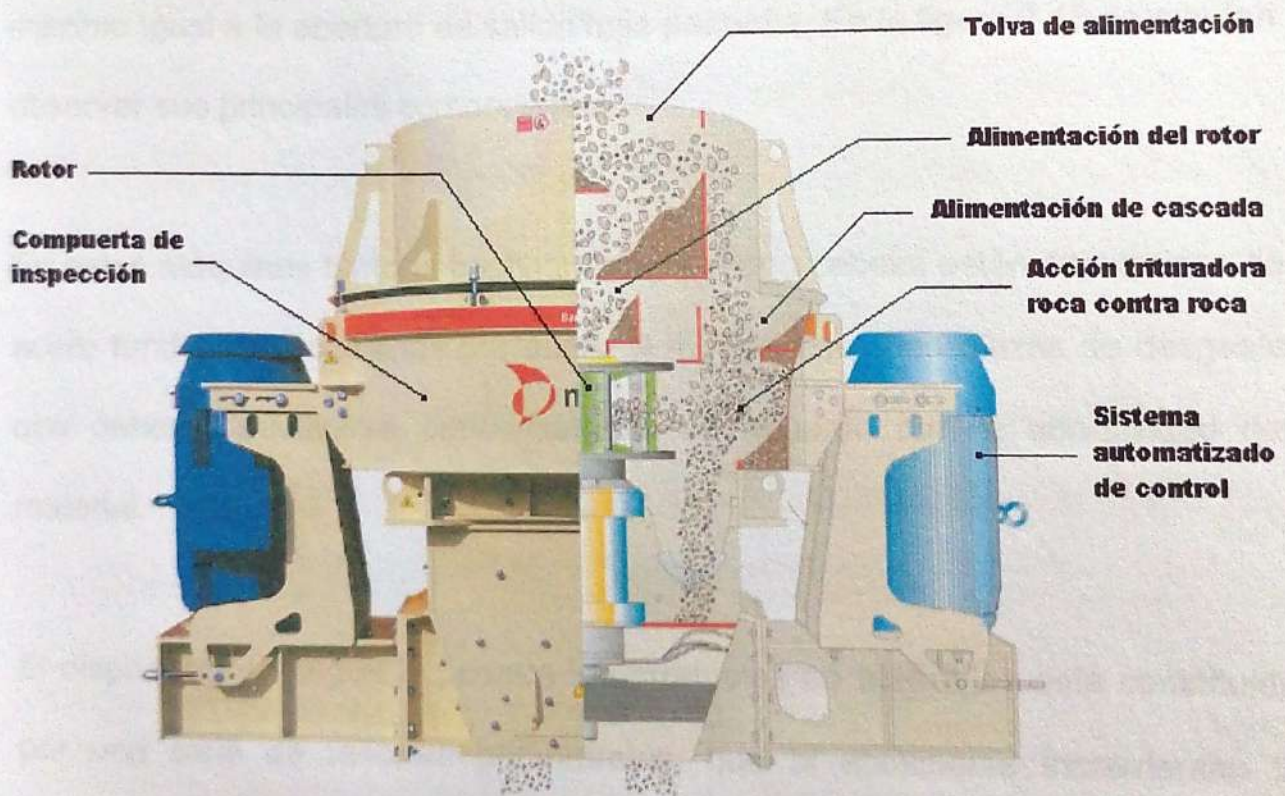


Figura 2.14. Componentes principales de un impactador de eje vertical (VSI, Vertical Shaft Impactor) con acción trituradora de roca contra roca.

### 3. Trituradora de Cono

Las trituradoras de cono son las más utilizadas en lo que respecta a la trituración secundaria. Su fabricación y la constitución de sus principales componentes son semejantes a los de las trituradoras giratorias ya descritas anteriormente, pero difiere en los siguientes aspectos: tiene un cono más corto, su abertura de recepción es más pequeña, su velocidad de rotación es mayor y produce agregados con una mayor uniformidad de tamaños y con tamaño máximo igual a la abertura de salida más pequeña. En la figura 2.15 se pueden observar sus principales componentes.

En estas máquinas tanto el bastidor como el cono cabeza están contruidos de acero fundido o recubiertas por acero al manganeso. Son piezas de desgaste que deberán sustituirse periódicamente de acuerdo con la abrasividad del material.

El dispositivo de seguridad contra los productos no triturables está constituido por una serie de resortes perimetrales, que al accionarse incrementan la abertura entre el cono y el manto dejando pasar los materiales difíciles de triturar que pudieran ocasionar desgaste en estas piezas o atoramiento del equipo.

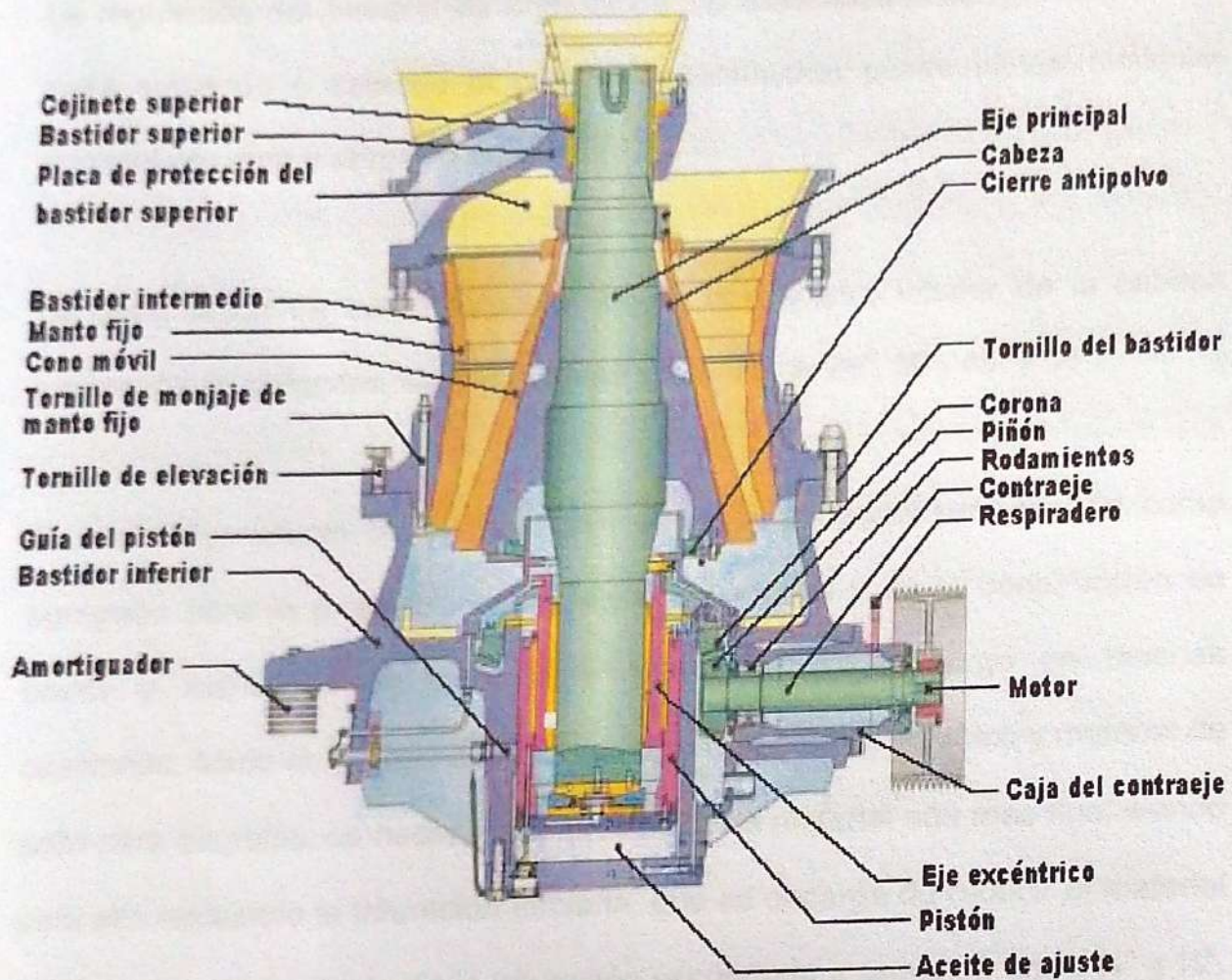


Figura 2.15. Componentes principales de una trituradora de cono.

Este tipo de máquinas son muy eficientes, con elevado factor de reducción. Sus dimensiones son muy compactas, lo cual las hace prácticas para su instalación en grupos móviles de trituración con costos de mantenimiento bajos por la elevada duración de sus piezas de desgaste.

La regulación del tamaño de entrada de los materiales a ser procesados se logra subiendo o bajando el cono y generalmente puede triturar cualquier material por duro y abrasivo que sea.

La designación de este equipo es según el diámetro inferior de la cabeza expresada en pulgadas, siendo las más comunes de 24", 36", 48" y 66".

El material producto de la trituración secundaria puede ser utilizado como agregado para la producción de concreto hidráulico y en la construcción de bases y sub-bases de caminos y autopistas; sin embargo en muchas ocasiones, como en el caso de la producción de concreto asfáltico y material de sello para carpetas, es necesaria la presencia de material aún más fino, siendo para ello necesario la trituración terciaria, que se encarga de reducir el material de entre 3" a 1" producto de la trituración secundaria a tamaños entre  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{4}$ ", utilizándose para esta etapa la misma maquinaria de la etapa secundaria.

Las trituradoras de cono se fabrican en modelos especiales para cumplir la etapa secundaria, terciaria y cuaternaria de reducción, modelos que si bien desde el exterior presentan prácticamente el mismo aspecto, la geometría de sus cámaras de trituración tienen grandes diferencias; siendo lógicamente las máquinas que se pueden cerrar a menor dimensión para producir material más pequeño, las que admiten menor tamaño de roca a la entrada.

En lo que respecta a las otras trituradoras generalmente se utilizan las de rodillo triple, las de impacto y de martillo, conservando las mismas características que en la etapa secundaria pero con menores dimensiones.

#### **2.6.5.2.3 Trituración cuaternaria**

En algunos casos de producción de arenas, tanto para la elaboración de concreto hidráulico, como para corregir las curvas granulométricas de los materiales producto de la trituración secundaria y terciaria que causan déficit de partículas menores a 2 mm (malla No. 10) para cumplir con las especificaciones de los materiales de base y carpeta asfáltica para la construcción de carreteras, es necesario efectuar una cuarta etapa en la reducción de los materiales pétreos, para lo cual se utilizan básicamente la trituradora de conos y los molinos de barras y de bolas.

##### *1. Molino de Barras*

Están constituidos esencialmente por un tambor cilíndrico horizontal de placa de acero estructural y revestido interiormente con placas de acero al manganeso para evitar el excesivo desgaste (ver figura 2.16).

Es accionado a través de neumáticos con ejes horizontales, o a través de un mecanismo de piñón y corona dentada. El cilindro está cargado con barras cilíndricas de acero duro de 2" y 3" de diámetro, de longitud ligeramente inferior

a la del cilindro. Estas barras accionadas por la rotación del tubo, ruedan las unas sobre las otras y su movimiento relativo genera una acción intensa de molienda.

Los molinos pueden trabajar por vía húmeda o por vía seca y según el grado de finura del producto por obtener.

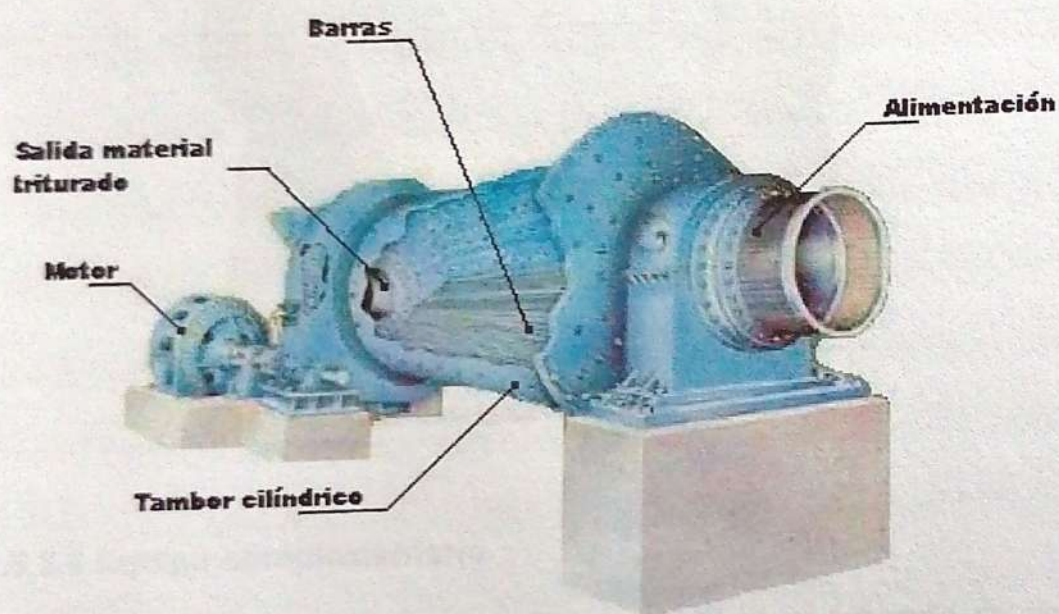


Figura 2.16. Corte esquemático de un molino de barras para la producción de agregado fino.

## 2. Molino de Bolas

Existen también los molinos de bolas que trabajan con el mismo principio que los anteriores, contando con los mismos elementos, pero en lugar de barras se

utilizan esferas de acero de diversos diámetros de acuerdo a la finura del material que se quiere obtener (ver figura 2.17).

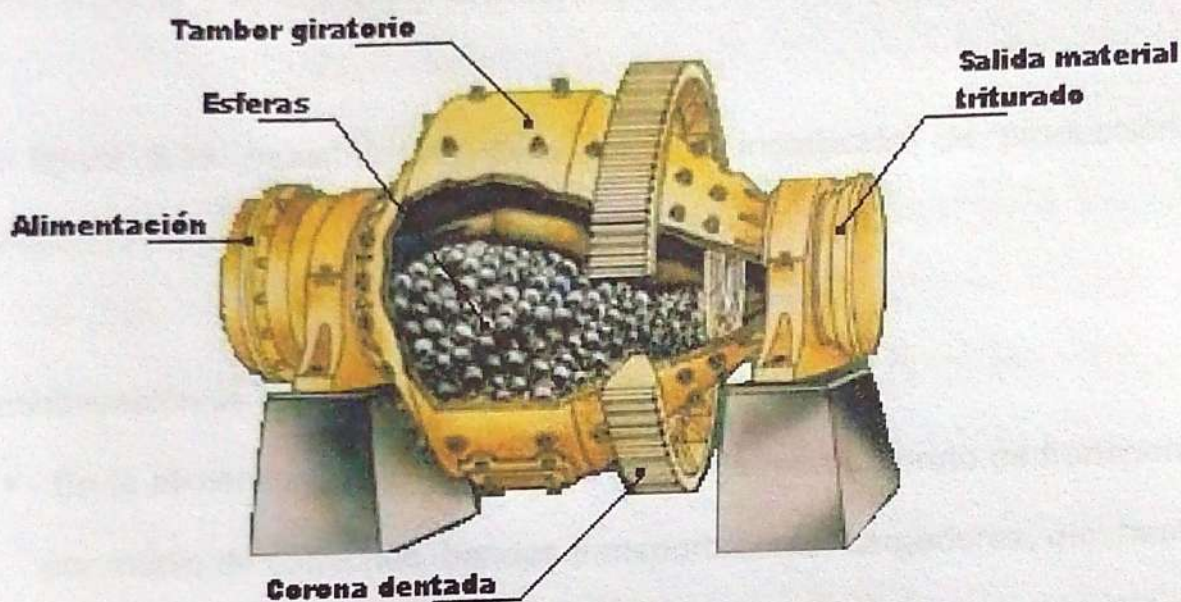


Figura 2.17. Corte esquemático de un molino de bolas.

#### 2.6.5.2.4 Equipo complementario

El equipo complementario no actúa directamente en el triturado de una roca, sino que ayuda a transportar, depositar, distribuir, clasificar y lavar el material, existiendo un equipo idóneo para cada una de estas actividades.

Al igual que con el equipo de trituración, es necesario seleccionar el equipo complementario más adecuado, considerando las condiciones tanto del material como de la obra, siendo para ello necesario además conocer las características específicas del equipo disponible.

### *A. Equipo para Transportar, Depositar y Distribuir*

#### **- Tolvas**

La tolva es el complemento de la planta donde el material se deposita por la parte superior y se extrae por la parte inferior.

La figura 2.18 muestra una tolva en una instalación de producción de agregados pétreos.

A continuación se mencionarán algunos de sus usos:

- En la alimentación de las plantas, donde la roca en bruto es transportada por medio de camiones, bandas transportadoras, cargadores, etc. hasta la tolva. En la parte inferior se coloca un alimentador, que dosifica la cantidad necesaria de material a la boca de admisión de la trituradora.
- Durante el proceso de trituración el material al salir de una trituradora, es depositado sobre bandas transportadoras, donde se puede requerir cambios de dirección de flujo, facilitándose éstos gracias al uso de pequeños canalones.
- Al finalizar el proceso de trituración el agregado es clasificado y depositado en tolvas, en donde se almacena temporalmente mientras es requerido.

Una de las desventajas que presenta el uso de tolvas es su alto costo, debido al rápido desgaste que sufren sus componentes. En este sentido, es recomendable tener en mente una serie de medidas preventivas a fin de incrementar su vida útil, de las cuales las más empleadas son las siguientes:

- Encamisados de hule o acero, dependiendo de la abrasividad del material, los cuales se colocan en las paredes de la tolva fijándose con tornillos, y en caso de desgaste pueden ser removidos con facilidad.
- Una forma muy recomendable para evitar el desgaste es provocar que el material se deslice sobre él mismo. Esto se logra con un achatamiento en la parte posterior de la tolva, el cual deberá formar un ángulo  $\alpha$  con respecto a la horizontal. Este ángulo debe ser ligeramente menor que el ángulo de fricción interna del material  $\beta$ , de tal manera que se provoque un acumulamiento de material sobre el cual deslizará el material depositado posterior a éste, provocando fricción e impacto en la misma roca o agregado, evitando así el desgaste de la tolva (ver figura 2.19).

Las dimensiones de la tolva deben ser acordes con la cantidad de material que se va a manejar, régimen de alimentación de la cantera y régimen de salida.



Figura 2.18. Tolva de recepción con rejilla de precibado. Plantel Jiboa, Municipio de Rosario, La Paz.

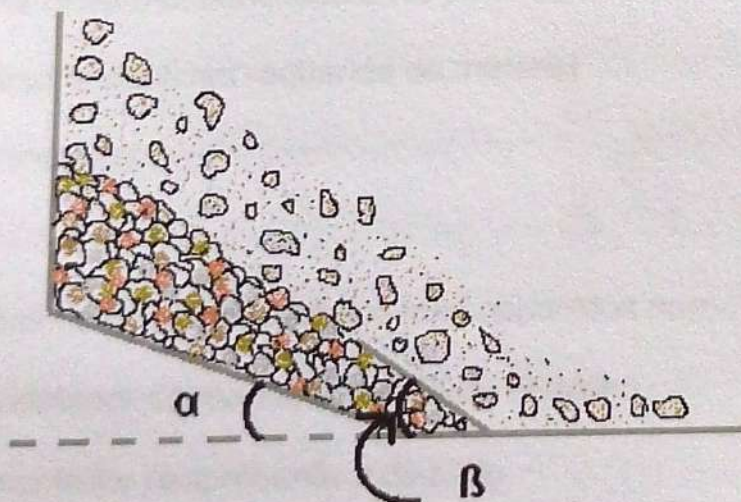


Figura 2.19. Dispositivo de una tolva para evitar desgaste.

Las tolvas tienen en la parte superior rieles que impiden que el material caiga bruscamente sobre las bandas o trituradoras según sea el caso, estos rieles cuentan así mismo con una protección contra fricción y desgaste, precibando el material que se recibe.

#### - Alimentadores

La alimentación del material puede realizarse directamente en la boca de una trituradora, pero generalmente se hace por medio de tolvas en cuya parte inferior se encuentran los alimentadores, con o sin dispositivo de precibado, que conducirán el material hacia la trituradora.

Los principales propósitos de los alimentadores son:

1. Introducir el material a la planta de trituración
2. Alimentarla uniforme, continuamente y sin fluctuación
3. Proporcionar la cantidad requerida de material
4. Recibir el material

Existen varios tipos de alimentadores, los más conocidos son:

- Alimentador de mandil o de tablero metálico
- Alimentador reciprocante o de plato
- Alimentador vibratorio con o sin rejilla de precibado
- Alimentador de banda

### *Alimentador de mandil o de tablero metálico*

Está compuesto de paletas metálicas continuas que forman una especie de banda. La sobreposición de las paletas de acero forjado provee al alimentador de un sistema de autolimpieza, por lo que está acondicionado para manejar material contaminado con arcilla.

Este tipo de equipo se recomienda para instalaciones de alta producción, donde se manejan grandes bloques de roca, en especial en plantas mineras y cementeras.

El tamaño de este equipo se designa en función de su ancho, encontrándose en el mercado diversas dimensiones.

### *Alimentador reciprocante o de plato*

Se compone de una placa metálica rectangular montada sobre rodillos, animada por un movimiento de vaivén ocasionado por una biela<sup>34</sup> excéntrica, con la cual se puede controlar el régimen de la alimentación.

Estos alimentadores por lo general se usan en instalaciones pequeñas para el manejo de arenas y gravas, son relativamente económicas tanto en costo como en mantenimiento.

---

<sup>34</sup> pieza que transforma un movimiento rectilíneo en circular.

*Alimentador vibratorio con o sin rejilla de precibado.*

Por medio de vibración el material es conducido hacia delante. El rango de alimentación puede ser controlado por un motor de velocidad variable y un control del mismo que regula la frecuencia de las vibraciones.

Se utilizan generalmente en instalaciones de mediana y elevada producción para la elaboración de agregados pétreos para la industria de la construcción (figura 2.20).

Las rejillas (conocidas como grizzly) hacen una preclasificación del material, enviando a la trituradora primaria únicamente el material que necesita de esta etapa de trituración.

El material pequeño de esta alimentación será almacenado o mandado a trituración secundaria o terciaria según sea el caso, evitándose así un desgaste innecesario del equipo, obteniéndose un mayor rendimiento en la producción, además de necesitar menor mantenimiento que cualquier otro.



Figura 2.20 Alimentador vibratorio con rejilla de precibado para trituradora de quijadas. Instalación fija de producción de agregados pétreos en Plantel Angue, Municipio de Metapán, Santa Ana.

### *Alimentador de banda*

Este tipo de alimentador trabaja con el mismo principio que el tipo mandil pero se utiliza para material de menores dimensiones.

Para la selección del alimentador idóneo se deben requerir algunos datos, como por ejemplo:

- Toneladas por hora que deben ser manejadas, incluyendo alimentaciones máxima y mínima.
- Peso volumétrico del material
- Distancia a la cual debe transportarse el material

- Altura a la cual el material debe ser elevado
- Limitaciones de espacio
- Método utilizado para la carga del alimentador
- Características del material

#### - Transportadores de banda

Una de las opciones para el transporte y manejo de agregados pétreos, son los transportadores de banda, conocidos también como bandas transportadoras, siendo este un equipo de mecánica simple y de gran eficiencia (figura 2.21).

Existen varios tipos de transportadores de acuerdo a las necesidades de la industria en general, pero todas constan de una banda de hule reforzada con capas de lona o de nylon en diferentes anchos, montados en trenes con un número de rodillos variables, generalmente tres con diversas inclinaciones uniformemente espaciadas y accionadas por una polea de cabeza motriz que a su vez es accionada por un motor que le imprime a la banda una velocidad lineal que va de 30 a 180 metros por minuto, con el fin de transportar de ese modo un flujo uniforme de material.

Entre los tipos de bandas están:

- 1) Banda transportadora radial (stocker) para almacenamiento de agregados en pilas sobre el terreno

- 2) Sistema estacionario de transporte de agregados y almacenamiento sobre el terreno a base de transportadores con puntos de descarga variables a lo largo de su longitud (tripper)



Figura 2.21. Bandas transportadoras para almacenamiento de materiales. Pedrera La Cantera (San Diego), Municipio Puerto La Libertad, La Libertad.

#### D. Elevadores de cangilones

Es un tipo de equipo de elevación de materiales a granel que consiste básicamente en una serie de botes o cangilones montados ya sea sobre cadenas o sobre una banda de hule. Tanto las cadenas como la banda están accionadas por un movimiento lineal que permite la elevación de los materiales recogidos por los botes a la tolva de recepción situada en la parte inferior del elevador.

Si bien es un equipo muy utilizado en las industrias de la cal, cemento, yeso y minería, en las instalaciones de agregados pétreos se ha visto muy disminuida su utilización, debido al desarrollo de los transportadores de banda, que en muchos casos sustituyen ventajosamente a los elevadores de cangilones.

### *B. Separadores de partículas (cribas)*

En toda planta de producción de agregados es necesario clasificar el material, esto se hace mediante cribado; que además ayuda a dirigir, separar y controlar el material a través de todo el proceso de trituración. Los principales objetivos del cribado son:

- 1) Clasificación del producto por tamaños
- 2) Separación de los agregados que no tengan el tamaño adecuado
- 3) Separación de los agregados que no necesitan más trituración

El pre-cribado durante la etapa primaria de trituración, se lleva a cabo separando aquel material de un tamaño susceptible de usarse sin necesidad de trituración (el cual se realiza a través de rejillas de precribado ubicadas en los alimentadores vibratorios), reduciendo así la carga total de la trituradora y aumentando la capacidad total de la planta.

La sobrecarga de material en las cribas reduce la eficiencia del cribado, y esto puede ocurrir por una excedida alimentación del proceso en función de la capacidad del equipo y/o porque el material integral posea una elevada concentración de algunos tamaños; para evitar esta contingencia, debe administrarse la alimentación mediante un dispositivo que la regule.

Durante las etapas secundarias y terciaria el cribado se realiza por la misma razón que en la etapa primaria, así como para separar los agregados mayores al tamaño máximo aceptado y regresarlos nuevamente al proceso de trituración. En estas etapas es importante el cribado ya que clasifica los tamaños del agregado ya producido.

Las cribas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1) Cribas vibratorias inclinadas
- 2) Cribas vibratorias horizontales
- 3) Cribas giratorias

#### *1) Cribas Vibratorias Inclinadas*

Este tipo de cribas tienen un plano inclinado para poder recibir el material. La vibración se provoca mediante un excéntrico simple, que gira en torno a un eje perpendicular al plano de la criba, la cual hace que el material avance hacia abajo sobre el plano inclinado de la misma (ver figura 2.22).

El tamaño de una criba se designa por el ancho y longitud de superficie de cribado, existiendo diversidad de tamaños en versiones de uno, dos y tres pisos.

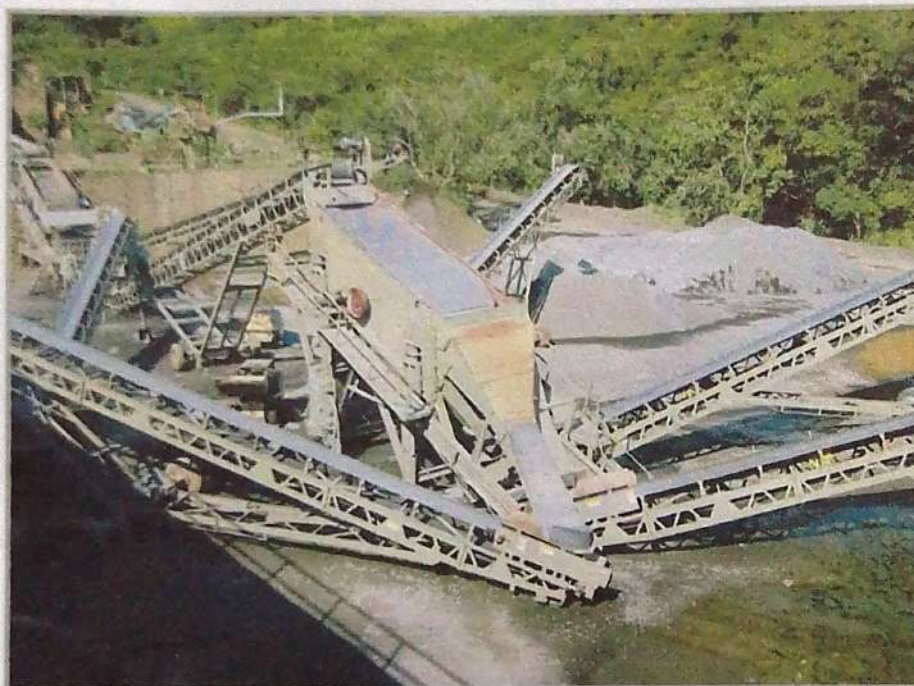


Figura 2.22. Criba vibratoria inclinada en instalación fija de producción de agregados pétreos en Pedrera La Cantera (San Diego), Municipio Puerto La Libertad, La Libertad.

## 2) Cribas Vibratorias Horizontales

Esta criba es similar a la vibratoria inclinada, la diferencia es que la disposición de sus cribas es en forma horizontal (figura 2.23).



Figura 2.23. Vista superior de una criba vibratoria horizontal alimentada por una banda transportadora. Instalación fija de producción de agregados en Plantel La Bóveda, La Unión.

Con cualquiera de los dos tipos de criba descritos se logran las mismas producciones y eficiencias, siendo las inclinadas las más económicas, aunque para tamaños iguales ocupan un mayor espacio vertical de instalación que las horizontales.

Las cribas horizontales se presentan también en una gran gama de tamaños, en sus versiones de uno, dos o tres niveles.

### 3) Criba Giratoria

Consiste en un tambor grande de paredes cilíndricas perforadas, el cual gira lentamente sobre su eje longitudinal inclinado. El material que se introduce por

el extremo superior del cilindro, se mueve por el interior del mismo hasta que pasa por las aberturas.

La cantidad de material que maneja este tipo de cribas depende de la velocidad de rotación y de la inclinación. En la actualidad, por su baja eficiencia con relación a las cribas vibratorias, este tipo de máquinas está en desuso.

La aplicación de energía vibratoria constituye una medida muy eficaz para mejorar la eficiencia de cribado, por lo cual prácticamente todos los equipos para la clasificación de agregados están provistos de cribas vibratorias.

La aplicación de agua durante el proceso de cribado tiende a facilitar el paso de las partículas a través de las aberturas de las cribas, pues el agua ayuda a lubricar y dispersar las partículas. Además, debido a su utilidad para eliminar contaminaciones indeseables, el uso del agua es prácticamente de rutina en la clasificación de los agregados por cribado.

### *C) Equipo de lavado*

Aunque el uso de agua puede mejorar la eficiencia de cribado de los agregados, no es este el principal motivo para su utilización, sino de preferencia tratar de reducir a límites tolerables las materias y sustancias inconvenientes que puedan contener, entre las cuales destacan la arcilla, el limo, la materia

orgánica, el polvo de trituración y algunas sales inorgánicas como los sulfatos y los cloruros.

Esto significa que con el lavado de los agregados no necesariamente se pretende la completa eliminación de sus contaminantes, sino más bien disminuir su proporción a niveles que han probado no ser perjudiciales para la calidad del concreto.

La presencia de los contaminantes enumerados es una situación mucho más frecuente en los agregados naturales que en los manufacturados, por lo cual la aplicación del tratamiento de lavado es una medida de ejecución rutinaria en el procesamiento de agregados procedentes de fuentes naturales.

En tanto que para los agregados obtenidos por trituración de roca sólo se aplica obligadamente en determinados casos, como por ejemplo cuando existen contaminaciones inevitables en el material extraído de la cantera, y/o cuando se produce una excesiva proporción de polvo de trituración y éste no puede eliminarse por el simple cribado mecánico en seco.

Considerado como tratamiento ordinario, el lavado de los agregados consiste básicamente en la aplicación de aspersiones de agua a presión sobre las cribas

de modo que actúe directamente sobre las partículas que se hallan en curso de cribado (ver figura 2.24 y 2.25)

De esta manera el agua, que debe aplicarse en toda la extensión de cada criba y en todos los niveles de cribado, desciende y se junta con la arena después de pasar el último nivel de cribado, para formar una especie de "lodo" en el que se confunden la arena útil y los contaminantes disueltos y/o arrastrados por el agua.

Una forma sencilla para separar de la arena útil el agua portadora de los contaminantes, consiste en hacerlo por decantación; para este propósito, el "lodo" se recibe al pie del sistema de cribas en un tanque sedimentador de tamaño apropiado provisto de una sección vertedora de altura regulable.

Las partículas de arena se depositan rápidamente en el fondo del tanque y son extraídas por medio de un dispositivo escurridor helicoidal (ver figura 2.24), en tanto que el agua llevando consigo una alta proporción de los contaminantes, derrama por el vertedero mediante un flujo regulado que suele desperdiciarse, aunque eventualmente se recircula si después de pasar por un segundo tanque sedimentador, el agua resulta adecuada para una nueva utilización en el lavado.

Un aspecto que debe cuidarse al emplear este sistema de lavado, se refiere al riesgo de que junto con las partículas finas indeseables se eliminen también finos de la arena que son necesarios, con lo cual ésta puede resultar inconvenientemente gruesa después del tratamiento de lavado.

Para prevenir esta contingencia debe moderarse la velocidad del flujo de agua en el tanque de sedimentación, a fin de dar oportunidad para que las partículas más finas de la arena se asienten antes de que puedan ser arrastradas por el flujo y desechadas por el vertedero.

Sin embargo, esta moderación puede verse limitada por la necesidad de hacer el lavado más enérgico cuando la proporción de contaminantes que deben eliminarse es muy alta, en cuyo caso es posible considerar otras opciones para su eliminación mediante tratamientos especiales.

En cuanto al suministro de agua de lavado, éste no debe ser muy reducido porque entonces no se alcanza una adecuada limpieza en los agregados, ni tampoco conviene que sea excesivo, no sólo por razones económicas sino también porque se corre el riesgo señalado de perder finos útiles.

A continuación se presentan diversos tipos y modelos de equipo de lavado:

- *Flautas de riego*

### 1) *Lavadores de Grava.*

El lavado de la grava se hace durante el cribado aplicándoles chorros de agua a alta velocidad los cuales remueven la arena y polvo adherido (ver figura 2.24 y 2.25).

### 2) *Rastrillos.*

Existen dos tipos de lavado por rastrillo, basándose en el mismo principio: el material contaminado entra por el mismo lado que lo hace el agua, los finos del material son capturados por ésta y el material grueso cae en los rastrillos que lo conducen al exterior por el extremo contrario.

### 3) *Gusano Lavador o Clasificador de Tornillo de Arquímedes.*

Está compuesto de un recipiente metálico que por lo general se engancha en la parte inferior formando un tanque de clasificación, en su interior se encuentra un espiral que lava las impurezas de las arenas escurriéndolas del agua excedente y evacuándolas por su parte superior para almacenamiento.



Figura 2.24 Planta portátil de cribado y lavado de agregados pétreos. Plantel Jiboa, La Paz.



Figura 2.25. Vista superior de la planta portátil de cribado y lavado de agregados. Plantel Jiboa, La Paz.

### - *Desenlodadores*

Tambores Desenlodadores. Para el lavado enérgico de minerales y de gravas naturales fuertemente contaminadas con arcilla, se emplean los tambores desenlodadores (scrubbers) que constan de un cilindro o placa de acero en cuyo interior se montan aspas o paletas mecánicas, que mueven el material en cuyo interior se montan aspas o paletas metálicas, que mueven el material en su interior. A su vez consta de un dispositivo de riego de agua a presión para realizar dentro del tambor el lavado de los agregados, así como orificios en la parte exterior para la evacuación del agua.

### **2.6.6 Enfoque ambiental**

La historia del hombre ha estado íntimamente ligada al desarrollo de la minería (entiéndase explotación de tierras, rocas y otros recursos), así se mide su evolución por tiempos mineros: Edad de Piedra, Edad de Cobre, Edad del Bronce, Edad del Hierro. Las explotaciones ancestrales buscaban la máxima utilidad o beneficio sin respeto alguno al medio ambiente, con efectos ambientales devastadores.

En este sentido hay que admitir que la actividad minera es altamente agresiva con la naturaleza, siendo además una actividad transitoria y no definitiva, circunstancia que exige una restitución, restauración o rehabilitación del suelo a otros usos, siempre con búsquedas imaginativas y soluciones específicas de

cada problema, siendo los gobiernos de cada nación responsables de velar por ese bien común que es el medio ambiente, así como coordinar este con un racional y sostenido desarrollo económico, enfrentándose al natural deseo del explotador de obtener el máximo beneficio al menor costo.

Con la vigente Ley de Medio Ambiente de la República de El Salvador, Decreto Legislativo No. 233 de fecha 2 de marzo de 1998, aparece por primera vez la problemática ambiental ligada a la explotación de canteras, pétreos de ríos, lagos, lagunas y playas. Así en el Título X "Recursos naturales no renovables" Art. 82, literal d, establece que la explotación de canteras y la extracción de material del cauce de las riberas de los ríos y de los lagos, lagunas y playas solamente se podrá hacer mediante permiso ambiental expedido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

En base al anterior artículo se puede mencionar que aunque es obligatorio solicitar un permiso ambiental para la explotación de agregados ante el MARN, en la realidad es muy difícil controlarlo, especialmente las extracciones de arena en los ríos, los cuales se han visto muy afectados.

Además el Reglamento General de la Ley de Medio Ambiente en el Título III Capítulo Único, regula la extracción de materiales pétreos de los ríos, lagos,

lagunas y playas, estableciendo las obligaciones de los responsables de las extracciones:

- Cumplir con la extracción del volumen autorizado
- Conservar el cauce de los ríos
- Utilizar tecnología y procedimientos adecuados que prevengan y minimicen la generación de residuos

Es así como actualmente se está tomando importancia al factor ambiental en la extracción de pétreos en nuestro país, donde principalmente la explotación de arena en los ríos en un futuro tenderá a ser restringidas.

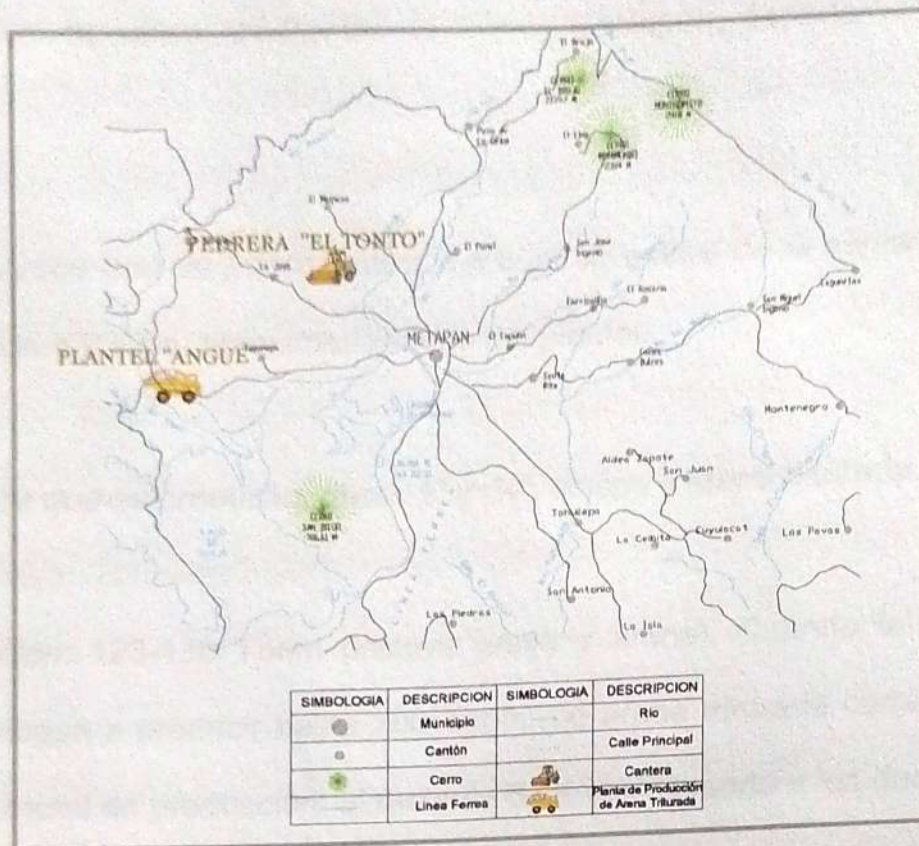
#### **2.6.7 Canteras que producen arena triturada en El Salvador**

Como ya se mencionó en repetidas ocasiones, la producción de arena triturada en el país es reciente por lo que son pocas las canteras que la producen, y que se atribuyen ser las pioneras en la producción de arena triturada. Estas son:

- Plantel Angue
- Pedrera de El Salvador S. A. de C.V. (Plantel Jiboa)
- La Cantera S.A. de C.V. (San Diego)
- Plantel La Bóveda.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

2.6.7.1 Plantel Angue



**Generalidades**

*Ubicación:* se ubica en Canton El Ronco, Metapán, departamento de Santa Ana.

*Tipo de roca que se tritura:* caliza. La cual se extrae de la cantera "El Tonto", localizada a 2 Kms. aproximadamente del plantel.

*Tamaños que se producen:* grava 1" y ¾"; chispa y arena triturada.

*Producción:* 123-130 Ton/h (incluye grava y arena). Cuando la demanda es mayor llegan a producir hasta 200 Ton/h. La arena triturada corresponde a un 35% del total de producción, el restante 65% corresponde a los demás tamaños (grava y chispa).

*Reservas:* dato no proporcionado.

**Antecedentes**

Inicia la manufactura de arena en septiembre de 2003 explotando un macizo de caliza, con una producción de 400 a 500 ton, luego fue aumentando de 3000 a 5000 ton; hasta marzo de 2004, se tiene una producción acumulada de 23,000 ton.

La planta cuenta con equipo e instalación de laboratorio para verificar y controlar la calidad de sus productos "in situ".

Provee principalmente a productores de concreto premezclado, entre otros; teniendo su mayor aplicación en pavimentos de concreto hidráulico compactado con rodillo (CCR).

La mayor parte de la producción está siendo absorbida por el Plantel Chanmico de Concretera Salvadoreña.

### **Características geológicas de la zona**

Según el Mapa Geológico de la República de El Salvador, la formación de donde se extrae la materia prima corresponde a pequeños depósitos de Caliza rojiza con intercalaciones de vulcanitas localizados al norte del departamento de Santa Ana. También en la zona se encuentran conglomerados de cuarzo, areniscas, siltitas y lutitas, vulcanitas básicas intermedias subordinadas.

### **Maquinaria y equipo**

El plantel cuenta con el siguiente equipo para la producción de pétreos:

- Equipo de trituración:
  - Trituración primaria: trituradora de quijadas (abertura 28 pulg.  $\pm$  8) CEDARAPIDS.

- Trituración secundaria: trituradora de cono CEDARAPIDS.
  - Trituración terciaria: trituradora de impacto de eje vertical (VSI) CANICA de la compañía Altex, modelo G5.
- Equipo complementario y maquinaria:
- Un Alimentador principal vibratorio equipado con rejillas de precibado (grizzly) para una preclasificación.
  - Tolvas.
  - Bandas transportadoras.
  - 3 Cribas Vibratorias; dos horizontales y una inclinada
  - Túnel con alimentadores vibratorios.
  - Máquina de lavado POWER SCREEN, modelo Fine Master 120.
  - Camiones de volteo.
  - Equipo para acopio y extracción de material.
  - Equipo e instalaciones para pruebas de laboratorio.

### **Proceso de producción**

Este comienza con la extracción de la roca, la cual se realiza aplicando técnicas de voladura e impacto en la cantera. Cuando se obtiene la roca del tamaño deseado (menor de 12"), es transportado a la Planta de Producción por medio de camiones de volteo los cuales depositan el material directamente en la tolva de alimentación (Ver figura 2.26),

El material por medio de vibración se desplaza hasta la abertura de la trituradora de quijadas (trituración primaria), pasando antes por un precibado a través de un grizzly (rejillas de precibado con una separación de 3 a 4"). El material retenido pasa a la trituradora primaria donde es reducido a un tamaño aproximado de 4"; el material que pasa las rejillas es desplazado por bandas transportadoras hasta una cribadora vibratoria de un nivel que separa el material contaminante del que aún puede seguir el proceso de trituración.

Los materiales procedentes de la trituración primaria y de la criba, son transportados por bandas y acopiados sobre un túnel subterráneo inclinado, equipado con alimentadores vibratorios en su parte superior y una banda transportadora en su interior (Ver figura 2.27).

El acopio, ubicado sobre el túnel pasa a través de los alimentadores vibratorios al interior, cayendo en la banda transportadora que lo conduce a una criba vibratoria horizontal de tres niveles; el material retenido en la malla de 1" pasa a la trituradora de cono (trituración secundaria) que reduce tamaños de 1" a 1 1/2" a menores de 3/4", retornando nuevamente a la criba para ser clasificados.

El material retenido en la malla de 3/4" pasa a un acopio donde se acumula la grava de este tamaño. Los tamaños inferiores a 3/4" pasan a través de bandas transportadoras a otra cribadora vibratoria horizontal que clasifica el material en:

pasante malla 3/8", arena triturada y retenido en la malla 3/8"; pasando este ultimo a la trituración terciaria, que consiste en una trituradora de impacto de eje vertical (VSI), la cual reduce el material obteniendo arena triturada que regresa a la última criba para ser clasificada.

La planta cuenta con una máquina lavadora de arena para eliminar contaminantes y el exceso de finos indeseables (ver figura 2.28). Una vez clasificada la arena triturada, pasa por bandas transportadoras a la máquina lavadora de cangilones donde es lavada, pasando finalmente al acopio.

El proceso de producción, tiene la particularidad que la trituradora primaria se ha instalado de manera independiente, de manera que cuando no esté funcionando, ya sea por alguna reparación u otro inconveniente, el proceso no se detenga, ya que cuenta con un acopio de material que ya ha pasado por esta etapa de trituración.

También la trituradora primaria puede estar operando y acopiando el material producido (sobre el túnel), mientras se efectúan las reparaciones o actividades de mantenimiento a la trituradora secundaria u otra parte componente del proceso de trituración.

Una vez efectuadas las reparaciones, se tiene suficiente material acopiado para continuar con el proceso de trituración, sin necesidad que la trituradora primaria siga trabajando.

El plantel cuenta además, con un sistema de reutilización de agua. El agua utilizada durante los diferentes procesos es conducida por tuberías a pilas de sedimentación, pasando posteriormente a otras pilas donde es almacenada para poder ser utilizada nuevamente.

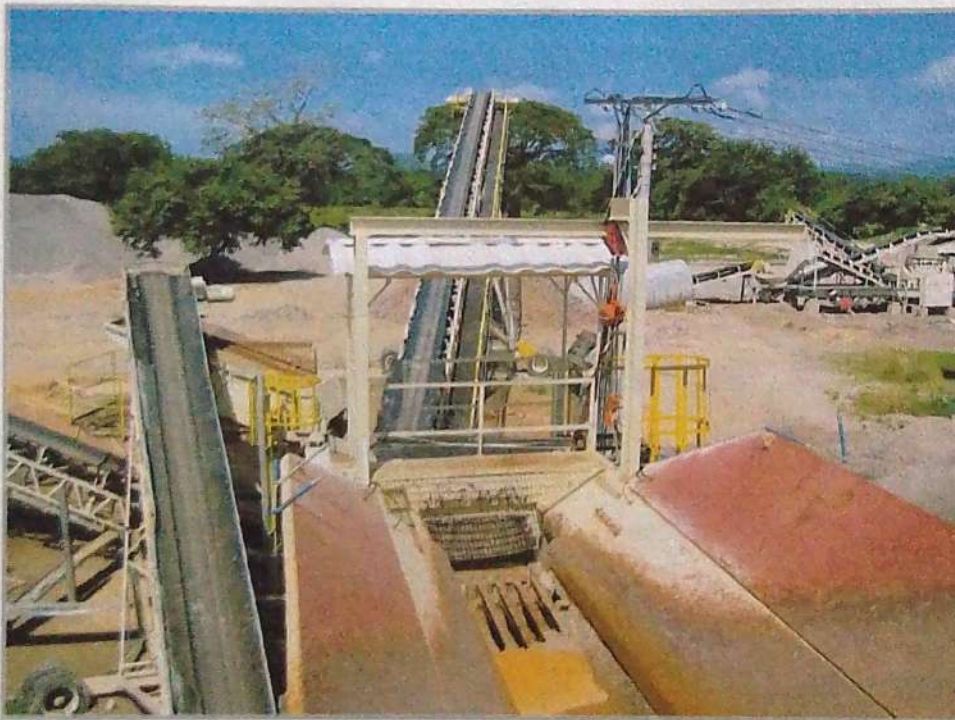


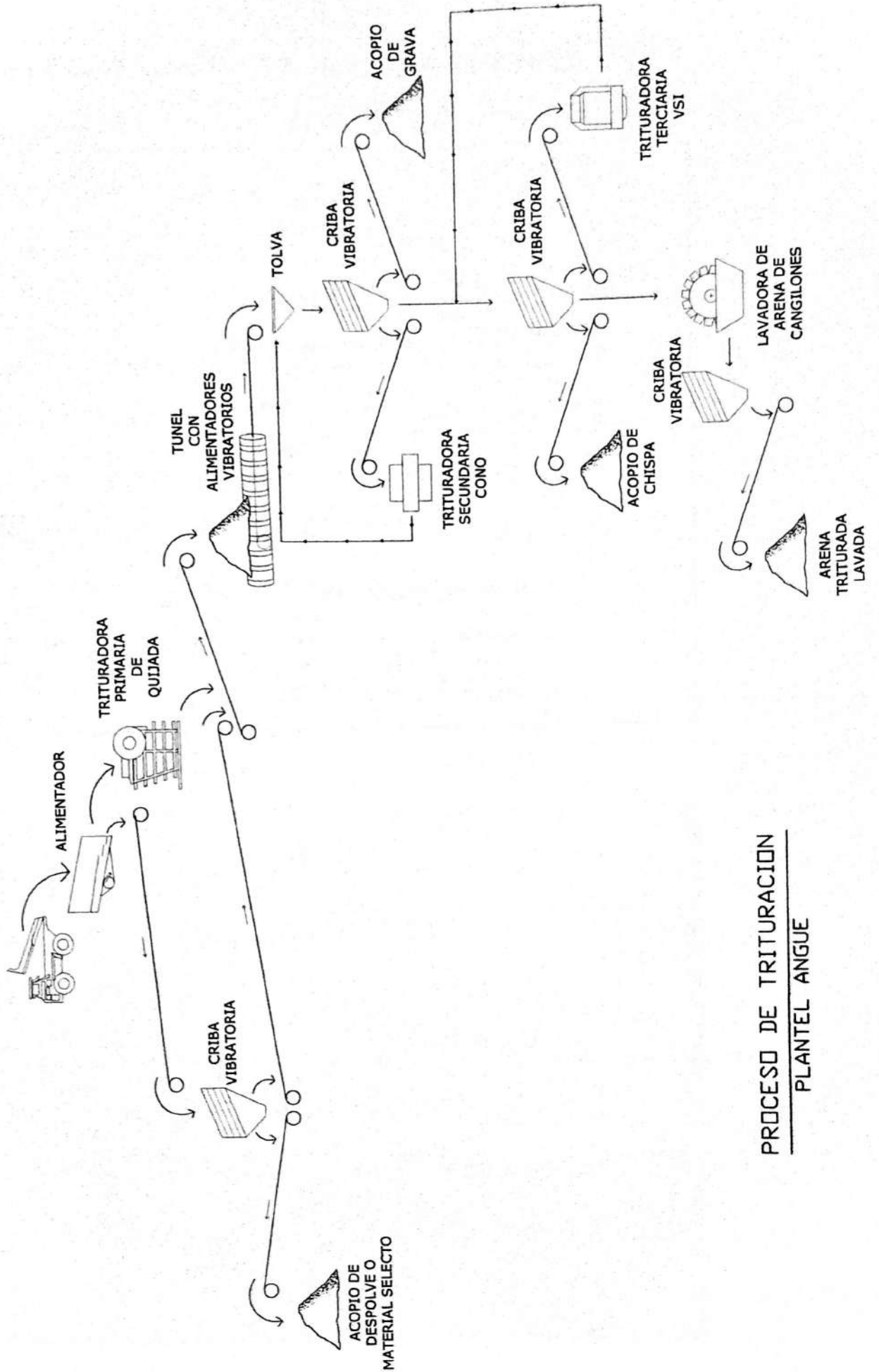
Figura 2.26. Alimentador vibratorio. Al fondo se pueden observar las rejillas de precribado y la abertura de la trituradora de quijadas.



Figura 2.27. Túnel alimentador. El material ingresa por la parte superior a través de alimentadores vibratorios y es transportado por una banda a la siguiente cribadora.

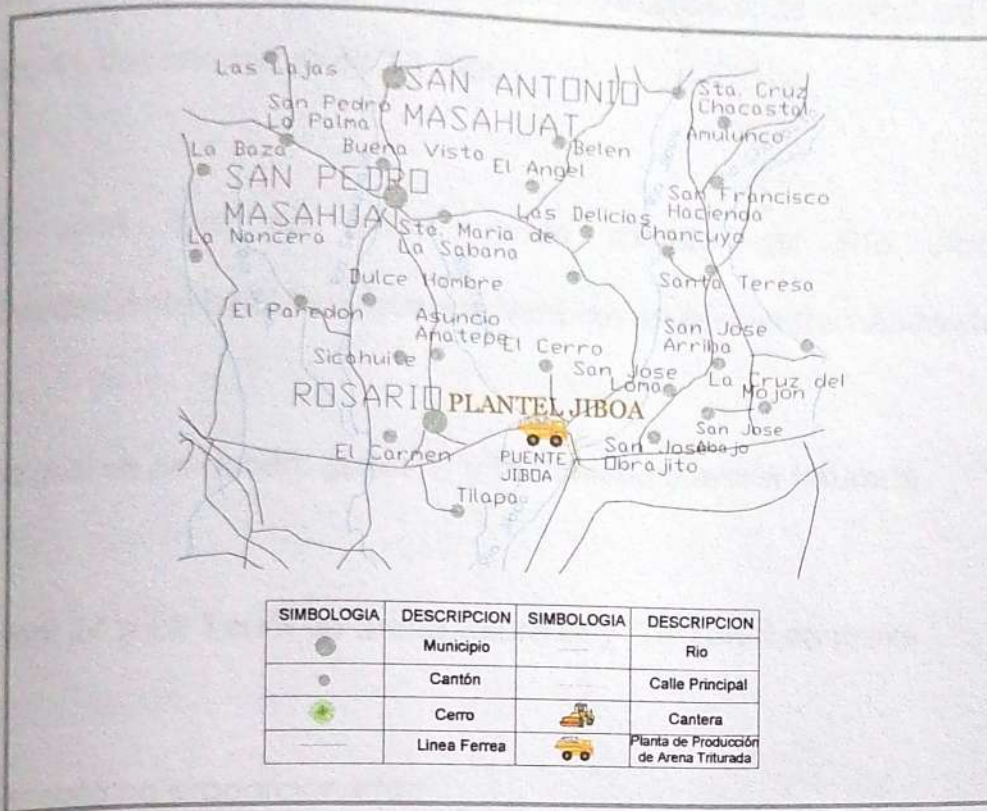


Figura 2.28. Lavadora de arena de cangilones.



**PROCESO DE TRITURACION**  
**PLANTEL ANGUE**

2.6.7.2 Pedrera de El Salvador S.A. de C.V. (Plantel Jiboa)



### **Generalidades**

*Ubicación:* municipio de Rosario, Carretera Antigua a Zacatecoluca cantón El Tunal Km. 41 departamento de La Paz.

*Tipo de roca que se tritura:* canto rodado del Río Jiboa. Roca predominantemente basáltica, aunque también se encuentran Andesitas.

*Tamaños que se producen:* grava 1" y ¾"; chispa y arena triturada.

*Producción:* 24 a 32 Ton/h de arena triturada y 75 Ton/h de grava.

*Reservas:* dato no proporcionado.

### **Antecedentes**

El plantel tiene aproximadamente 60 años de producir grava. La producción de arena triturada se inició a mediados del año 2003, teniendo una de producción de 15 m<sup>3</sup>/hora en septiembre de 2004. La arena que se manufactura es utilizada principalmente para abastecer a productores de concreto premezclado.

### **Características geológicas de la zona**

La materia prima del plantel es comprada, proveniente de un banco de aluvión, localizado a 5 km. del plantel. Según el Mapa Geológico de la República de El

Salvador, la zona de donde se extrae la materia prima esta clasificada geológicamente como formaciones de aluviones locales con intercalaciones de piroclastitas, compuesto por gravas, arenas y arcillas a lo largo del Río Jiboa.

### **Maquinaria y equipo**

El plantel cuenta con el siguiente equipo para la producción de pétreos:

- **Equipo de trituración:**
  - Trituración primaria: trituradora de quijadas 38" X 40" marca CEDARAPIDS.
  - Trituración secundaria: trituradora de cono modelo Symons marca NORDBERG.
  - Trituración terciaria: trituradora de impacto de eje vertical (VSI) marca CEDARAPIDS.
  
- **Equipo complementario y maquinaria:**
  - Un Alimentador principal vibratorio equipado con grizzly para preclasificación.
  - Tolvas.
  - Bandas transportadoras.
  - 2 Cribas Vibratorias; una horizontal y otra inclinada.
  - Planta portátil de cribado y lavado KOLBERG.
  - Camiones de volteo.

### **Proceso de producción**

Inicia con el transporte del material desde el banco al plantel. En el banco la extracción se realiza con un cargador, puesto que son depósitos de aluvión que no requieren el uso de explosivos u otro equipo especial.

Ya en el plantel, el material es depositado en una zona de acopio de materia prima para que de ahí sea llevado al alimentador de la trituradora primaria. Este proceso se realiza con camiones de volteo EUCLID modelo R 35, que llevan el material del acopio al alimentador, dejándolo caer desde una altura aproximada de 2.50 mts., debido a que toda la maquinaria de producción se encuentra a un nivel más bajo que el área de acopio (ver figura 2.29).

El alimentador vibratorio ha sido modificado de manera que al depositar el material del camión caiga todo adentro evitando pérdida de material.

El plantel cuenta con una trituradora de quijadas para la trituración primaria que es alimentada por la tolva vibratoria equipada con grizzly para precibado. Debido a que la materia prima es una mezcla de canto rodado y arena, la separación entre las rejillas es pequeña.

El material que pasa a través del grizzly es acopiado a un costado y es utilizado como arena natural; el material retenido (tamaño de 12" a 16") pasa a la

trituradora, reduciendo su tamaño a menos de 3". Después es transportado a través de bandas a la criba vibratoria inclinada de 6'X20', donde se realiza la primera clasificación.

El material menor de 3/8" pasa a bandas (ver figura 2.30) que lo conducen al acopio de chispa; el material retenido en la malla de 1 1/2" pasa al cono (trituración secundaria, ver figura 2.31) donde es reducido a un tamaño de 3/4" el cual es devuelto a la cribadora para su clasificación.

Los tamaños de 1" a 3/8" son conducidos por bandas a la siguiente criba vibratoria horizontal (7' X 20') que clasifica grava No 1, tamaño retenido en la 3/4" y arena triturada. El material retenido en la criba de 3/4" (ver figura 2.32), pasa a la trituradora terciaria que consiste en una trituradora de impacto (VSI) reduciendo el material y que es devuelto a la criba para su clasificación. Los tamaños menores a la malla No. 4 pasan al acopio de arena triturada.

El plantel cuenta con un equipo de lavado localizado a unos 100 mts de la planta de trituración donde el material es lavado. El equipo consiste en una planta portátil de cribado y lavado, de manera que el agregado es lavado por flautas de riego mientras se criba. La grava pasa a continuación a bandas transportadoras que lo conducen al acopio.

La arena que es clasificada es lavada por un Tornillo de Arquímedes (gusano lavador), donde los finos suspendidos son eliminados por decantación y la arena es evacuada por la parte superior del tornillo, siendo transportada por bandas al acopio (figura 2.33).



Figura 2.29. Alimentador vibratorio instalado a unos 3 mts. bajo el nivel de descarga.

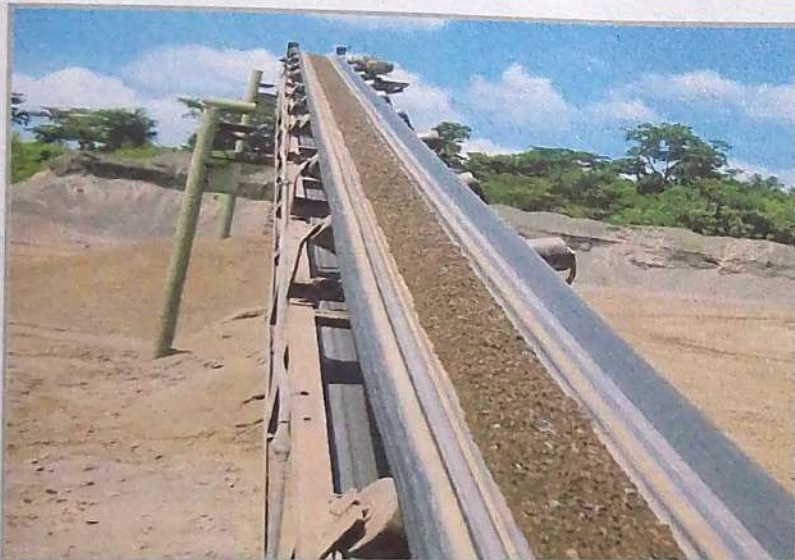


Figura 2.30. Bandas transportadoras, se observa que tienen cierta inclinación para poder acopiar el material transportado.



Figura 2.31. Trituradora de cono utilizada en la trituración secundaria.

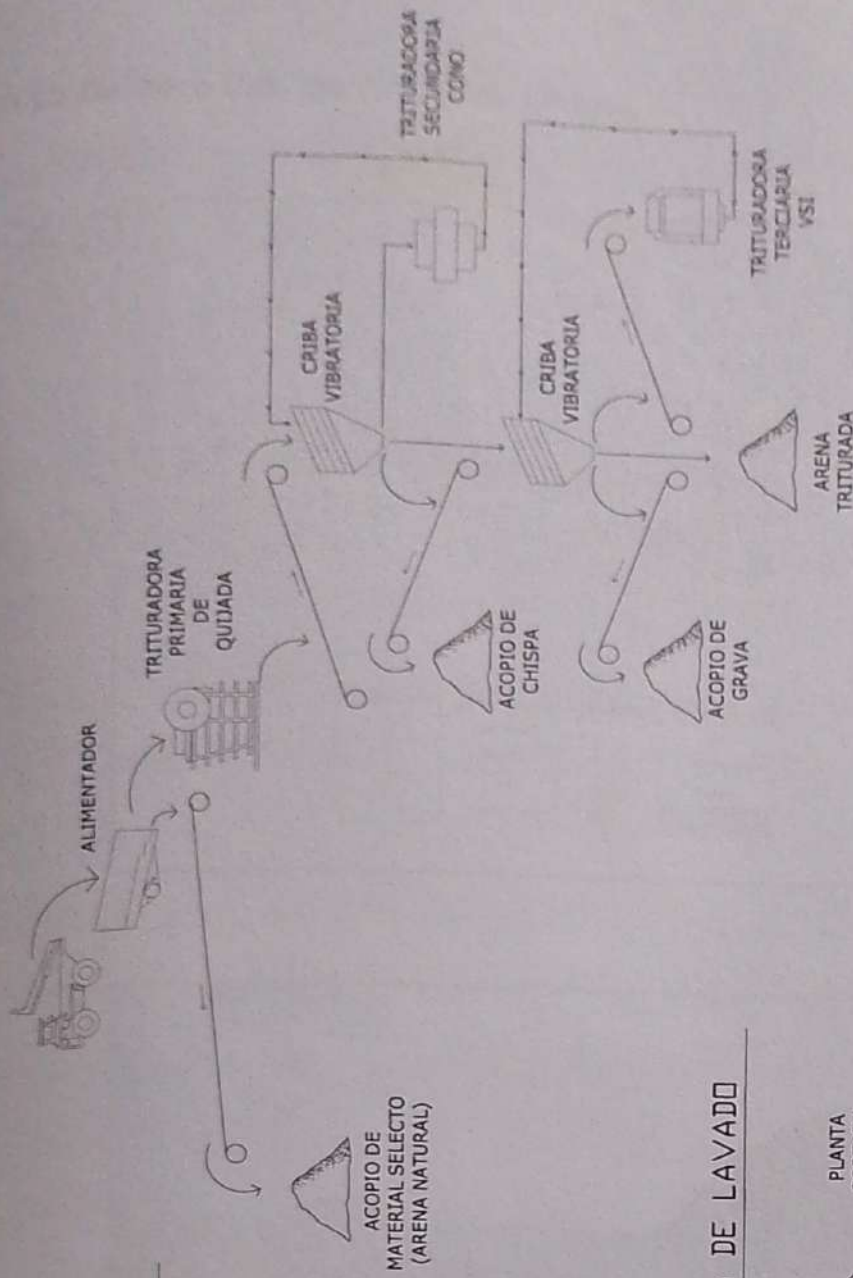


Figura 2.32. El material que proviene de la trituración secundaria es clasificado en la cribadora para luego ser distribuido.

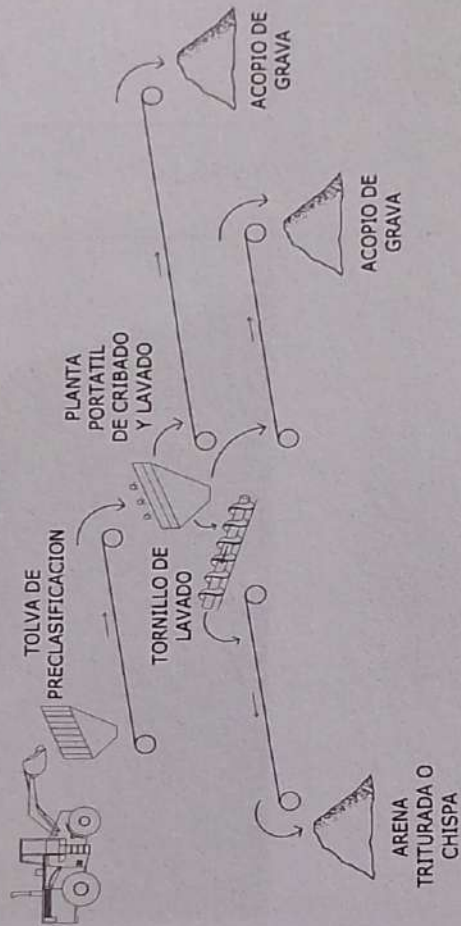


Figura 2.33. Planta portátil de lavado y cribado de agregados. En el extremo derecho superior se observa el tornillo para lavado de arena en el extremo izquierdo inferior el proceso de lavado de grava a través de chorros de agua a presión.

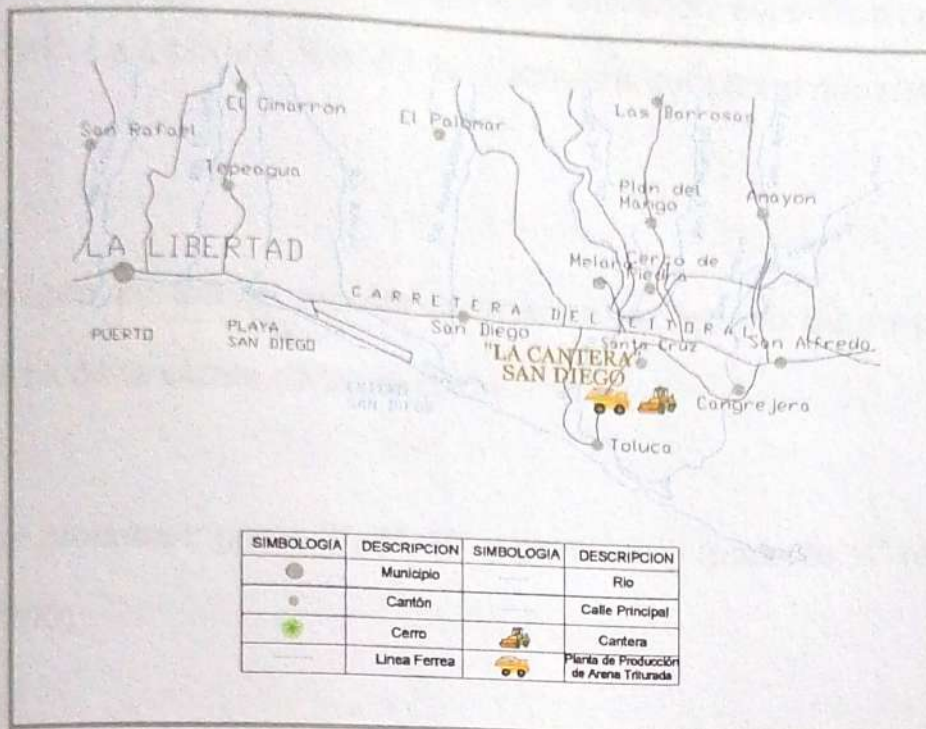
## PLANTA DE TRATAMIENTO PRINCIPAL



## PLANTA DE LAVADO



### 2.6.7.3 La Cantera S.A. de C.V. (San Diego)



### **Generalidades**

*Ubicación:* se ubica en la zona costera de El Salvador, específicamente en el municipio Puerto La Libertad, Km. 57 ½ Carretera del Litoral departamento de La Libertad.

*Tipo de roca que se tritura:* explota un macizo de basalto de su propiedad, localizado cerca de la planta de producción.

*Tamaños que producen:* grava 2", 1", ¾" y grava cero (pasante ¼" retenido en la malla No. 200).

*Producción:* dependiendo de la demanda se producen aproximadamente 150 Ton/h cuando es baja y 275 Ton/h en alta demanda, de los cuales del 28% al 32 % corresponde a la producción de grava cero.

*Reservas:* La cantera cuenta con un permiso de explotación de veinte años.

### **Antecedentes**

Es una de las más antiguas canteras productoras de agregado triturado en El Salvador, aunque la producción de grava cero comienza en el año 1997 manufacturando agregado de una granulometría de tamaño máximo nominal de ¼" hasta lo que se retiene en la malla No. 200.

En el año 2004 se pretendía iniciar la producción de arena triturada pero debido a su baja demanda esta se ha pospuesto, proyectándose a corto o mediano plazo el inicio de su producción.

La grava cero ha encontrado en el mercado diferentes aplicaciones, especialmente en el de los pavimentos asfálticos, ya que es utilizada en emulsiones en caliente o en frío, carpeteo y construcción de pistas de aterrizaje en aeropuertos.

#### **Características geológicas de la zona**

La formación de roca que se explota es parte de la formación Bálsamo compuesta por rocas volcánicas intermedias hasta básicas. También existen en los alrededores depósitos sedimentarios del cuaternario.

#### **Maquinaria y equipo**

El plantel cuenta con dos plantas completas (denominadas planta No. 1 y No. 2) para la producción de pétreos, que constan del siguiente equipo:

- Equipo de trituración:
  - Trituración primaria: trituradora de quijadas 42" X36" (TELSMITH)  
trituradora de quijadas de 32"X46" (KUE KEN)
  - Trituración Secundaria: trituradora de cono (KUE-KEN)
  - Trituración Terciaria: trituradora de cono (NORDBERG HP 500)

molino de martillos (con un volante de 55" de diámetro)

- Trituración Cuaternaria: molino de martillos para la producción de finos
- Equipo complementario y maquinaria:
  - 1 Track Drill.
  - 2 Alimentadores principales vibratorios equipados con grizzly para preclasificación.
  - Tolvas.
  - Bandas transportadoras.
  - 2 Cribas Vibratorias.
  - Máquina de lavado de tornillo.
  - Camiones de volteo.
  - Equipo para acopio y extracción de material

### Proceso de producción

El proceso que ha continuación se describirá corresponde al de la planta No. 2. Los procesos entre ambas plantas son prácticamente iguales, la diferencia consiste en la configuración de estas.

La producción inicia con la extracción de la roca de la cantera (ver figura 2.34), debiendo realizarse perforaciones de 3.5" de diámetro por 15 metros de

profundidad aproximadamente con un track drill (ver figura 2.35), siguiendo un patrón de distribución de las perforaciones sobre el área donde se pretenden realizar las voladuras.

Posteriormente estas perforaciones son cargadas con explosivos en serie para que todas se detonen simultáneamente, obteniéndose de esta manera un volumen de roca en bruto de 5 a 7 mil M<sup>3</sup>. Las voladuras se realizan una vez cada 20 días, pero si la demanda es alta las perforaciones pueden hacerse dos veces por semana.

El transporte de la roca en bruto es realizado por camiones de volteo de 30 Ton. de capacidad, los cuales son cargados por una pala mecánica para dar inicio con el proceso de trituración, el cual comienza cuando los camiones de volteo descargan la roca de un tamaño de 10" a 12" a la trituradora primaria (ver figura 2.36) y esta la reduce a tamaños entre 4" y 5" empleando una trituradora de quijadas ALTEX de 32" x 46" .

El material producto de la trituración primaria pasa por medio de bandas a la etapa secundaria, la cual lo reduce a tamaños entre 2" y 3" por la acción de una trituradora de cono ALTEX de 50" de diámetro. Es de hacer notar que antes que llegue a la trituradora de cono, el material es clasificado por una criba vibratoria inclinada, la cual realiza la función de retener y eliminar el material

contaminado, no triturando de esta manera la totalidad de la roca que entra a la trituradora de quijadas, sino más bien preferir "perder" cierta cantidad de material contaminado para obtener al término del proceso de trituración agregados con limpieza. El material contaminado de hecho no se pierde ya que es comercializado como material selecto.

El material proveniente de la etapa secundaria es transportado por bandas a un segundo vibrador que clasifica el material, pasando una parte al molino de martillo (trituración terciaria, ver figura 2.37) que le da la forma cúbica a la roca y produce los finos, obteniéndose tamaños que pasan la malla de 2" hasta el retenido en la malla No. 200.

Una vez triturado el material pasa a una criba que lo clasifica, determinando si todavía es susceptible de triturar, de manera que si es así se genera un circuito cerrado mandando nuevamente el material al molino de martillos para su trituración.

El material que ya no necesita trituración (terciaria) es clasificado por las cribas y enviado a los patios de acopio por medio de bandas transportadoras, produciendo de esta manera grava de 2", grava de 1" ó grava de  $\frac{3}{4}$ " dependiendo lo que se requiera producir.

El agregado de menor tamaño producto de la clasificación anterior es enviado a otra criba vibratoria en la que el retenido en  $\frac{1}{4}$ " pasa a otro molino de impacto (etapa cuaternaria) para que el material triturado por este, regrese nuevamente a la criba generando un circuito cerrado para que vuelva a ser clasificado y obtener así grava cero.

El arreglo de la clasificación puede ser modificado de manera que si existe en un determinado momento una gran demanda por un determinado tamaño, la planta puede ajustarse a las necesidades.

Como ya se mencionó, cuentan con dos plantas de producción completas, siendo el proceso de producción similar, con la variante que la trituradora terciaria de la planta No. 1 consiste en una trituradora de cono.

La cantera también realiza actividades de protección al medio ambiente, reforestando las áreas explotadas y construyendo barreras para evitar la erosión del suelo, además planean eliminar el polvo generado durante la producción instalando tuberías de aspersion de agua, que funcionan atrapando la nube de polvo, lo que la vuelve bastante densa produciendo que esta no se eleve y caiga al suelo.



Figura 2.34. Cantera de extracción de materia prima. Se observan los estratos verticales que conforman las rocas.



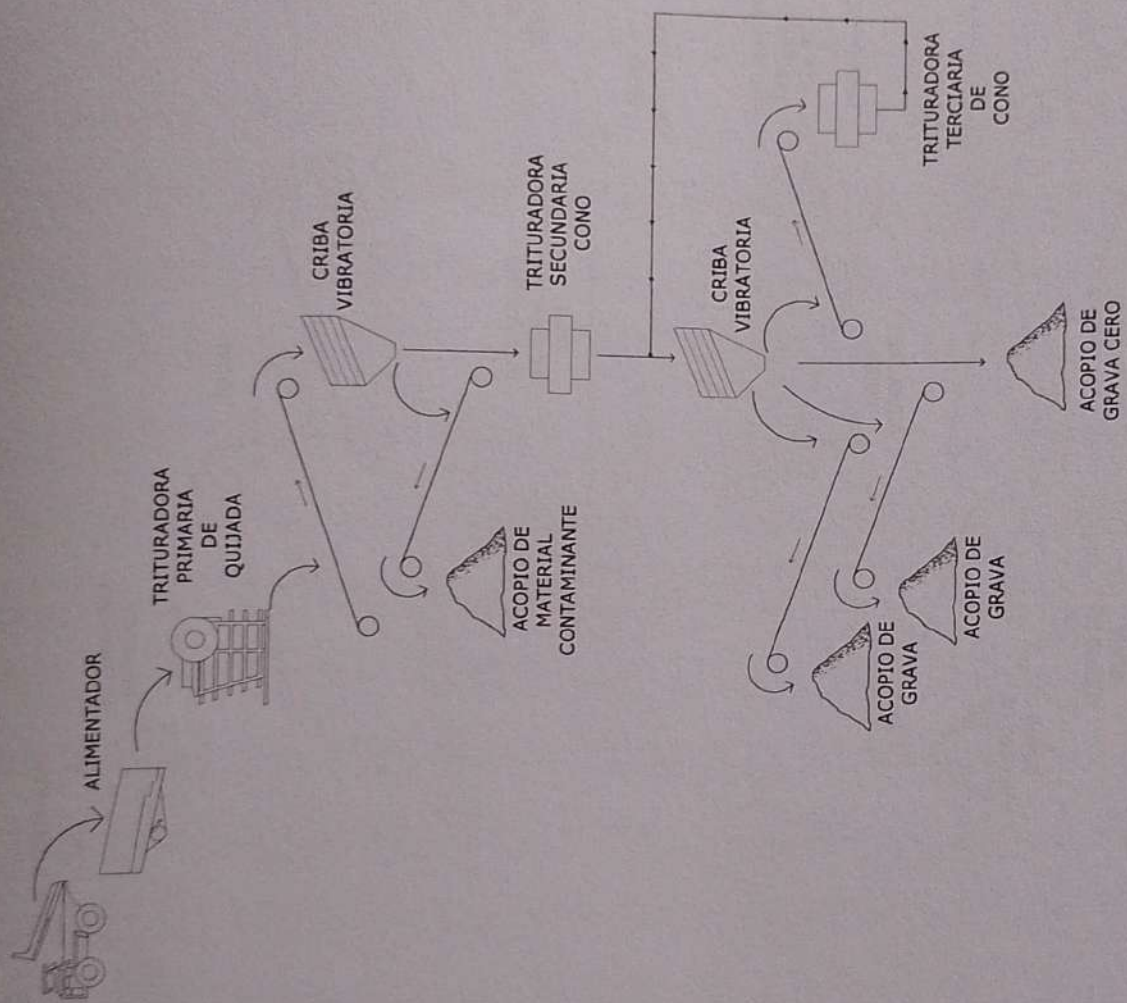
Figura 2.35. Proceso de perforación de la roca para su extracción por medio de voladura.



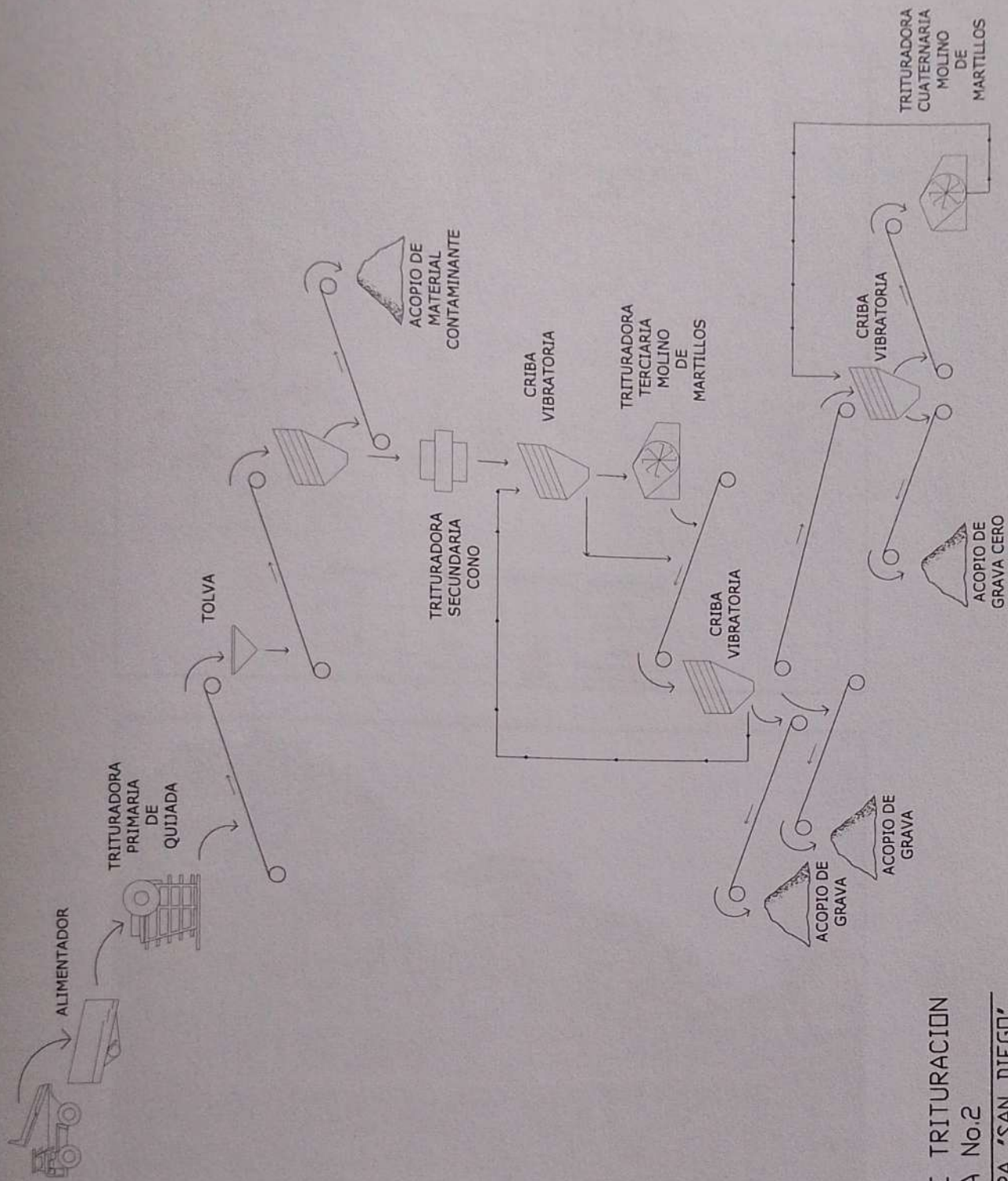
Figura 2.36. Maquinaria de producción. Se observa el alimentador vibratorio y la trituradora primaria.



Figura 2.37. Trituración terciaria. El material pasa de la criba clasificadora al molino de martillos.

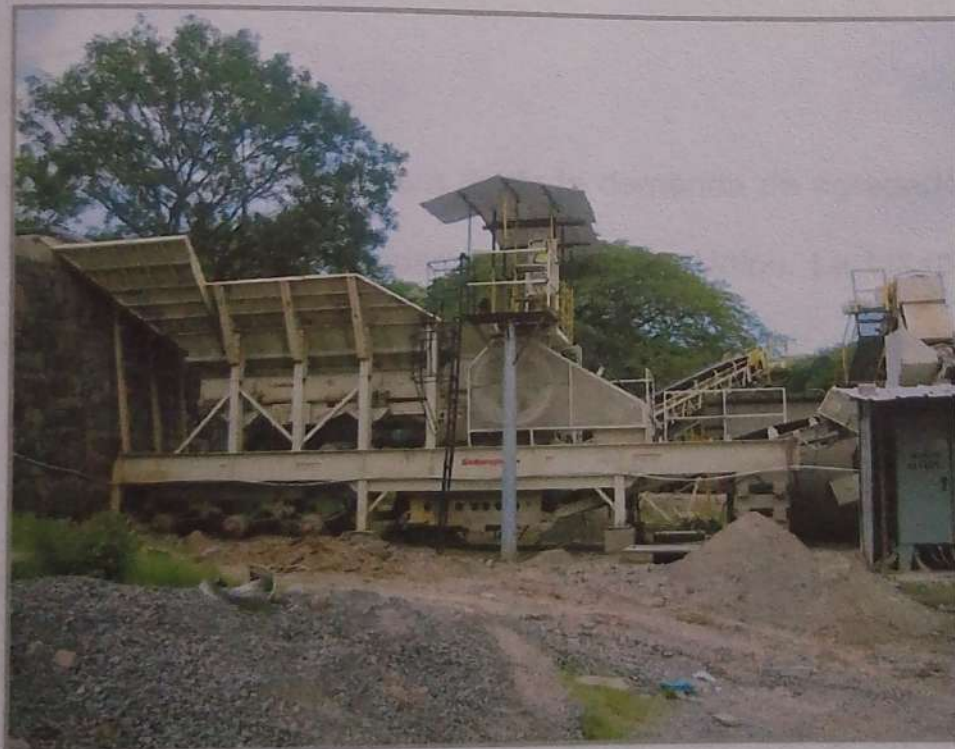
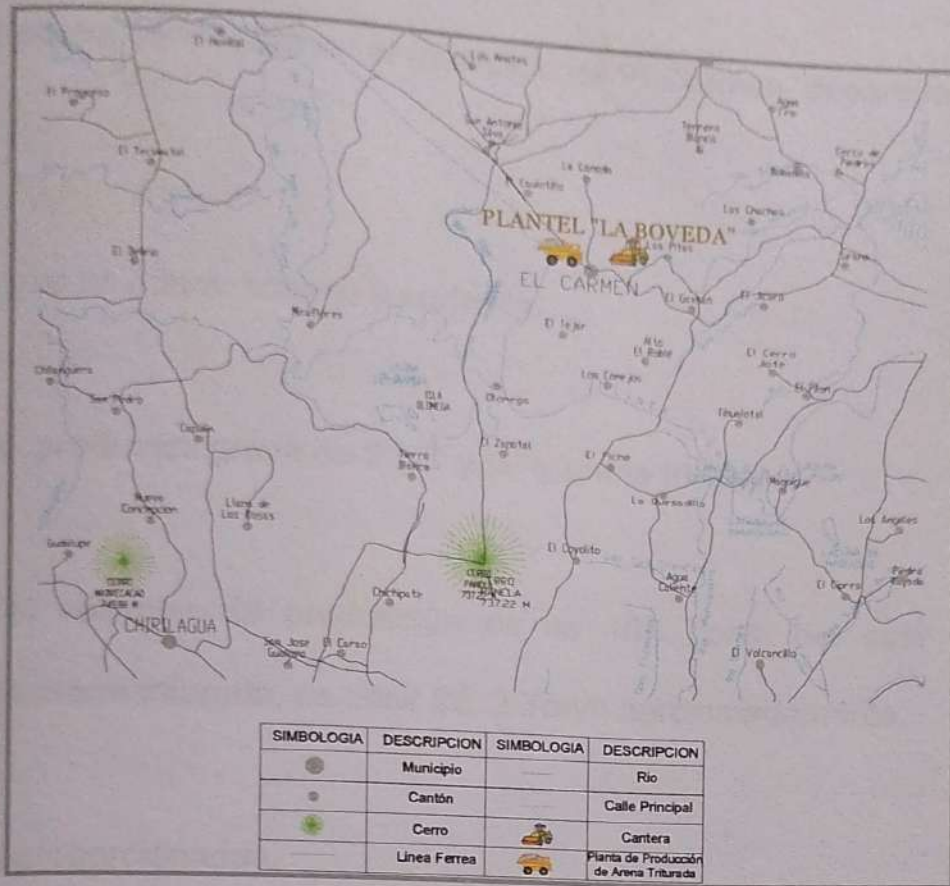


PROCESO DE TRITURACION  
 PLANTA No.1  
 LA CANTERA 'SAN DIEGO'



PROCESO DE TRITURACION  
 PLANTA No.2  
 LA CANTERA "SAN DIEGO"

### 2.6.7.4 Plantel La Bóveda



## **Generalidades**

*Ubicación:* la planta se localiza en el municipio de El Carmen, departamento de La Unión.

*Tipo de roca que se tritura:* basalto y andesita.

*Tamaños que producen:* grava de 2", 1" y ¾" y arena triturada.

*Producción:* el volumen de producción es de 105 Ton/h del cual el 24% corresponde a arena triturada, es decir 25. 2 Ton/h aproximadamente.

*Reservas:* no proporcionadas.

## **Antecedentes**

Esta planta surgió hace dos años para suplir la demanda de agregados en la construcción de carreteras en el departamento de La Unión. La trituración de arena comienza en el año 2003, teniendo una producción variable desde entonces, la cual está influenciada por la demanda.

En esta cantera se procesa tanto grava como arena, la arena es utilizada en la industria de prefabricados, especialmente en la fabricación de bloques, en la construcción de carreteras, además de ser demandada por productores de

concreto premezclado y en espera de proveerlas de sus productos en la construcción del Puerto Cutuco en el departamento de La Unión.

### **Características geológicas de la zona**

Según el Mapa Geológico la cantera se localiza en el área donde predominan las formaciones de rocas efusivas andesíticas-basálticas.

### **Maquinaria y equipo**

El plantel cuenta con la siguiente maquinaria para la producción de pétreos:

- **Equipo de trituración:**
  - Trituración primaria: trituradora de quijadas de 32"X46" marca CEDARAPIDS.
  - Trituración secundaria: trituradora de cono modelo 1145 marca CEDARAPIDS.
  
- **Equipo complementario y maquinaria:**
  - Alimentador vibratorio equipado con grizzly para preclasificación.
  - Tolvas.
  - Bandas transportadoras.
  - Cribas Vibratorias.
  - Camiones de volteo.
  - Equipo para acopio y extracción de material.

### Proceso de producción

El material producido en la planta solamente pasa por dos etapas de trituración: primaria y secundaria.

El material se transporta desde la cantera localizada a unos 500 mts de la planta, donde el material es extraído con maquinaria pesada y cargado a los camiones de volteo que lo depositan en el alimentador vibratorio (ver figura 2.38), pasando por un precibado donde se clasifica el material que por su tamaño no necesita trituración. Posteriormente pasa a una criba donde es clasificado y eliminado el material contaminado.

Del alimentador vibratorio, el material pasa a la trituradora de quijadas que recibe tamaños de roca desde 4" hasta 35". Después se transporta el material a través de bandas a la criba clasificatoria (ver figura 2.39) que selecciona el material y lo manda a los acopios respectivos. El material retenido es enviado al cono (ver figura 2.40 y 2.41) para reducirlo de tamaño y enviarlo nuevamente a la criba para que sea clasificado.



Figura 2.38. Alimentador vibratorio.



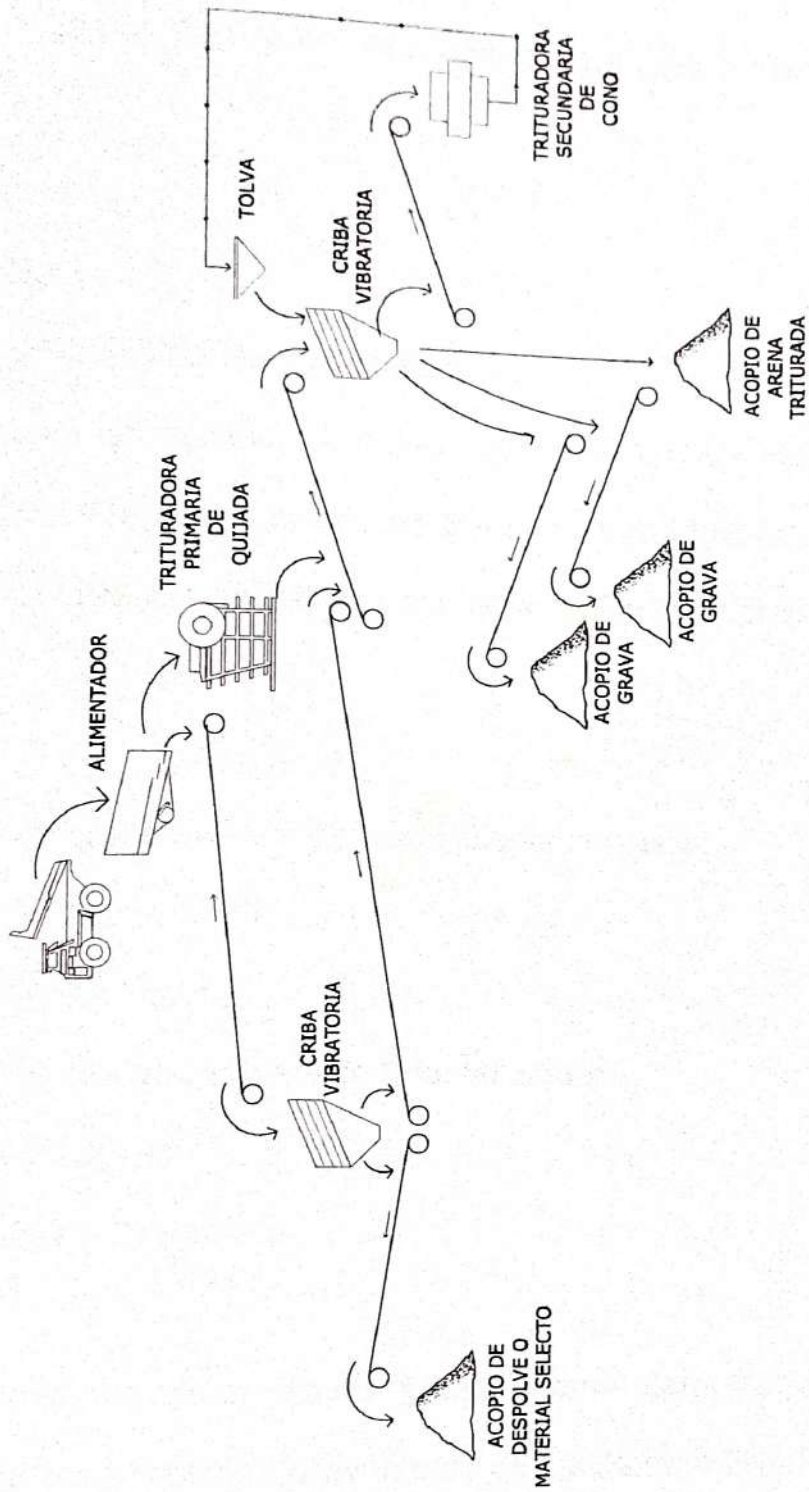
Figura 2.39. Criba de clasificación.



Figura 2.40. Vista superior de la trituradora de cono.



Figura 2.41. Trituradora secundaria.



**PROCESO DE TRITURACION**

**PLANTEL LA BOVEDA**

## CAPITULO 3

### PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

#### 3.1 Introducción

Las pruebas realizadas tienen dos finalidades:

- Verificar que las arenas trituradas satisfacen los requisitos mínimos de calidad y establecer una comparación con la arena natural.
- Determinar sus propiedades para seleccionar las proporciones en el concreto.

Las arenas a ensayar provienen de los siguientes lugares:

*Arena triturada:*

Plantel Angue

Pedrera de El Salvador (Plantel Jiboa)

*Arena natural:*

Banco Cangrejera

Además se ensayará el agregado grueso como dato de insumo para el proporcionamiento de mezclas, proveniente de La Cantera San Diego.

### 3.2 Pruebas de laboratorio

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las pruebas de laboratorio que se efectuarán:

*Ensayos para determinar la calidad de los agregados finos naturales y triturados:*

- Muestreo de agregados finos ASTM D 75
- Contenido de materia orgánica ASTM C40
- Pérdida de finos por lavado ASTM C 117
- Análisis granulométrico ASTM C136
- Módulo de finura ASTM C 125
- Resistencia al desgaste del agregado grueso ASTM C131

*Ensayos a los agregados para el proporcionamiento de mezclas:*

- Peso específico y absorción de los agregados ASTM C 127 y C 128
- Peso volumétrico ASTM C 29

### 3.2.1 Ensayos para determinar la calidad de los agregados finos naturales y triturados:

#### - Muestreo de agregados. ASTM Designación D 75.

El muestreo es tan importante como las pruebas que se realizan a los agregados, ya que deben ser representativas de la naturaleza y condición de los materiales del cual proceden.

#### *Procedimiento*

El procedimiento empleado se realizará según el apéndice de la norma.

#### - Método de ensayo estándar para impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto. ASTM Designación C 40.

El valor principal de este método de ensayo es suministrar una precaución sobre el hecho que se pueden presentar cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas.

Cuando una muestra es sometida a este ensayo produce un color más oscuro que la solución de referencia, es prudente ejecutar el ensayo para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero de acuerdo al método de ensayo C 87. Esta condición de la arena es afectada en gran medida por la forma de la explotación y la contaminación de la fuente.

### Procedimiento

En una probeta graduada se prepara una solución con hidróxido de sodio (NaOH) o soda cáustica al 3% en agua (disolviendo 3 partes de hidróxido de sodio en 97 partes de agua).

En una botella de vidrio transparente y graduada de 12 a 16 onzas de capacidad (figura 3.1), se coloca el agregado fino a ser ensayado hasta el nivel de aproximadamente 130 ml (4 ½ onzas). Luego es añadida la solución de soda cáustica previamente preparada, hasta que el volumen de agregado fino y solución después de ser agitado sea de aproximadamente 200 ml (7 onzas). A continuación se tapa la botella con un tapón especial que no sea reactivo con la solución, se agita vigorosamente y entonces se dejará reposar por 24 horas.

Al final del periodo de reposo la solución toma un color que según la intensidad refleja el grado de contaminación del agregado fino ensayado.



Figura 3.1. Recipiente conteniendo soda cáustica, botel de vidrio transparentes y carta de colores estándar.

Este color es comparado con la carta de colores estándar, la que nos indicará si la muestra es apta para ser utilizada en la elaboración de concreto.

Esta tabla presenta cinco colores que van desde un color amarillo claro (color # 1) hasta un color café oscuro (color # 5), observando que cuando una muestra sujeta a este procedimiento produce un color más oscuro que el estándar de referencia (color # 3), el agregado fino bajo ensayo deberá ser considerado como que presuntamente contiene impurezas orgánicas perjudiciales y nuevos ensayos deberán ser hechos antes de aprobarlo para su uso en la elaboración de concreto.

**- Método de ensayo estándar para material más fino que la malla No. 200 (75 $\mu$ m) en agregado mineral por lavado. ASTM Designación C 117.**

Se realiza en el agregado fino o grueso y cubre la determinación de la cantidad de material más fino que la malla No. 200 por lavado. Las partículas de arcilla, limos o polvo fino de roca pueden ser removidas del agregado durante la prueba.

Este método de ensayo puede ser realizado antes de la prueba de granulometría según el método de ensayo C 136 (Método de Ensayo estándar para análisis por malla de agregados grueso y fino).

*Procedimiento*

Si se realiza este ensayo previo al de granulometría, la muestra deberá ser de acuerdo con el Método de ensayo C 136, de otra manera la masa mínima de la

muestra de ensayo, después de secada, deberá ser de 300 gr. en el caso de que se analice agregado fino.

La muestra deberá ser secada a básicamente masa constante en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Después es obtenida su masa (inicial), para luego colocarla en un recipiente de un tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin permitir pérdida de material o agua.

La muestra se agita con suficiente vigor para que resulte en una separación completa de las partículas más finas que la malla No. 200 de las partículas gruesas, y llevar el material fino en suspensión. Inmediatamente se vacía el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disueltos sobre un juego de mallas, siendo la inferior una malla de  $75\mu\text{m}$  (No. 200), teniendo el cuidado para evacuar, tanto como sea posible la decantación de las partículas gruesas.

El material que pasa la malla No. 200 es desechado, recuperando el retenido y adicionando una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitando y decantando nuevamente y repitiendo el procedimiento hasta que le agua de lavado sea clara y sin partículas en flotación.

La muestra así lavada es secada a masa constante y determinando su masa (final) para ser comparada con la masa inicial de la muestra y estableciendo el porcentaje de finos.

**- Método de ensayo estándar para análisis por malla de agregados grueso y fino. ASTM Designación C 136.**

Muestra la distribución de tamaños del agregado obtenido por tamizado. La granulometría tiene una enorme influencia en la consistencia, textura superficial y el sangrado del concreto, así como en el consumo de agua y cemento, lo cual tiene repercusiones de tipo económico.

Es de mencionar que existe un factor predominante que define la granulometría de un agregado, el cual depende del proceso de trituración y cribado, aunque en este mismo sentido también puede influir la presentación de la roca en el frente de explotación, ya que ésta puede presentar planos de debilidad con una tendencia a producir roca lajosa.

Otro parámetro muy importante es el módulo de finura, ya que es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea, más grueso es el agregado. El módulo de finura representa la granulometría del agregado fino y es útil para estimar las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

### Procedimiento

Se toma una muestra de ensayo según la norma, es decir considerando un mínimo de 300 gr. después de secado (a masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C) para agregado fino y un mínimo de 5 kg. para agregado grueso, ya que se empleará agregado de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$  pulgadas.

Para el agregado fino se puede hacer empleo de un agitador mecánico (rot-tap) y tamices del #4, #8, #16, #30, #50 y #100 con fondo (figura 3.2), dándole un tiempo de agitación de 10 minutos.

En el caso del agregado grueso el tamizado se puede realizar en forma manual y empleando mallas de 1",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", #4.



Figura 3.2 a. Agitador mecánico (rot tap).



Figura 3.2 b. Tamices estándar para ensayo de granulometría.

Figura 3.2. Equipo de laboratorio para efectuar análisis granulométrico.

Para el agregado fino además, se calcula el módulo de finura sumando los porcentajes retenidos acumulados de las siguientes mallas y dividiendo esta suma por 100: No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8 y No. 4.

**- Método de ensayo estándar para resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles .ASTM Designación C 131.**

Este Método de Ensayo es usado en estudios preliminares para la explotación de canteras, pues refleja la calidad de la roca en función del grado de dureza que presente el agregado. Lo anterior es de mucha relevancia ya que con esta información se podría determinar el tipo de extracción y equipo de trituración más idóneos para su explotación.

#### *Procedimiento*

Se realiza una separación en fracciones de tamaño individual y se recombina la muestra a la graduación de la tabla "Graduación de la muestra de ensayo" de la norma, para posteriormente determinar la carga abrasiva que está en función de la graduación.

A esta muestra se le denomina muestra de ensayo, la cual junto con la carga abrasiva es colocada en la máquina de ensayo Los Ángeles, operándola de 30 a 33 rpm hasta completar 500 revoluciones.

Después se descarga el material de la máquina y se efectúa un tamizado preliminar de la muestra en una malla de 1.70mm (No. 12). El material más grueso es lavado y secado al horno a esencialmente masa constante y determinando su masa. Finalmente se obtiene la pérdida (diferencia entre la masa original final de la muestra de ensayo) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo.

### **3.2.2 Ensayos a los Agregados para el Proporcionamiento de Mezclas**

**- Método de ensayo estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. ASTM Designación C 127.**

La densidad relativa es la característica generalmente empleada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en mezclas de concreto, por lo que es utilizada para el cálculo de diseño de mezclas. Por otro lado, la absorción es empleada para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los poros.

#### *Procedimiento*

La muestra es secada al horno a esencialmente masa constante y dejándose enfriar a temperatura ambiente hasta que sea manejable. Posteriormente la muestra de ensayo es inmersa en agua por  $24 \pm 4$  horas para esencialmente

llenar todos los poros. La masa mínima de la muestra de ensayo es 3 kg. ya que se empleará agregado de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ".

La muestra es removida del agua y secada cada partícula con una franela absorbente hasta que toda la película visible de agua sea removida (hasta que la partícula no brille) y llevada a la condición SSS y determinando su masa. Es de hacer notar el cuidado que debe tenerse para evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial.



Figura 3.3. Equipo estándar para la determinación de la gravedad específica del agregado grueso.



Figura 3.4. Contenedor o canastilla donde se coloca el agregado a ensayar.

Posteriormente se coloca la muestra en condición SSS en el contenedor (figura 3.3), siendo éste inmerso en un tanque (figura 3.4) a una profundidad suficiente para cubrirlo y determinado así su masa aparente en agua. Finalmente la muestra es secada a temperatura constante y determinando su masa.

Con estos datos se aplican las fórmulas dadas en la norma para realizar los cálculos de gravedad específica y absorción.

- **Método de ensayo estándar para densidad bruta (peso unitario) y vacíos en los agregados. ASTM Designación C 29.**

Este método de ensayo es frecuentemente usado para determinar el peso unitario de los agregados para el diseño de mezclas de concreto.

#### *Procedimiento*

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bruta (peso unitario) del agregado en una condición compactada o suelta.

El tamaño de la muestra deberá ser de aproximadamente 125 a

200 % de la cantidad requerida para llenar el depósito medidor (figura 3.5) y deberá ser manejado de tal manera que se evite segregación. La muestra deberá secarse preferiblemente a masa constante en un horno.



Figura 3.5. Depósitos medidores para realizar método de ensayo ASTM C 29.

La densidad bruta compactada será determinada por el procedimiento de varillado, ya que el agregado a ser ensayado será de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$  "en el caso del agregado grueso.

El depósito se llena hasta un tercio de su altura y nivelando la superficie con los dedos para posteriormente varillar la capa del agregado con 25 golpes igualmente distribuidos sobre su superficie.

Se llena el recipiente nuevamente esta vez a dos tercios volviendo a nivelar y varillar como en el paso anterior. Finalmente se llena el recipiente hasta rebalsarlo y varillado de nuevo de la misma manera.

A continuación es nivelada la superficie del agregado con los dedos de tal forma que ninguna pieza del agregado sobresalga (en el caso del agregado grueso).

Al varillar la primera capa es de tener el cuidado que la varilla no toque el fondo del recipiente y que al varillar la segunda y tercera capa se aplique la fuerza necesaria para que la varille penetre en la capa previa del agregado.

En el caso de la densidad bruta suelta se utilizará el procedimiento de la pala o del cucharón, el cual se utilizará para llenar el recipiente hasta rebalsarlo,

descargando los agregados desde una altura que no exceda de 2 pulgadas por encima del borde del recipiente.

Nivelando a continuación la superficie del agregado con los dedos de tal manera que ninguna pieza del agregado grueso se proyecte.

Al finalizar este procedimiento tanto para la densidad bruta compactada o suelta se determina la masa del recipiente más el agregado y la masa del recipiente sólo, y empleando las fórmulas dadas en la norma se calcula el peso unitario de los agregados ensayados.

**- Método de ensayo estándar para gravedad específica y absorción del agregado fino. ASTM Designación C 128.**

La gravedad específica es la característica generalmente usada en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Habitualmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos.

En cuanto a la absorción, se puede mencionar que también es una característica empleada en los cálculos de proporcionamiento de mezclas para

controlar el contenido neto de agua en el concreto y poder determinar los pesos correctos de las mezclas.

### Procedimiento

Una muestra de agregado es sumergida en agua por  $24 \pm 4$  horas a esencialmente poros llenos después de haber sido secada a sustancialmente masa constante.

El exceso de agua es decantado teniendo cuidado de evitar la pérdida de finos, luego es esparcida la muestra en una superficie plana no absorbente expuesta a una ligera corriente de aire y removiendo constantemente para asegurar un secado homogéneo.

Para este fin se empleó un compresor de aire tratando de llevar la muestra a la condición de saturado y superficialmente seco (SSS).



Figura 3.6. Molde y pisón para ensayo de humedad superficial.

Se continúa entonces con el ensayo para determinar la humedad superficial, el cual consiste en sujetar un molde metálico de la forma de un cono truncado (figura 3.6) con dimensiones de  $40 \pm 3$  mm en el borde superior,  $90 \pm 3$  mm de

diámetro interno en la base y de  $75 \pm 3$  mm de altura, sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo y colocando una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde llenándolo hasta que desborde y apilando material adicional por encima del borde superior del molde.

Luego se apisona ligeramente el agregado fino dentro del molde con 25 golpes y removiendo la arena de la base del cono y levantándolo verticalmente se observa si la humedad superficial está aún presente cuando el agregado fino retiene la forma del molde.

Por el contrario si se observa un ligero desplome indica que éste ha alcanzado la condición SSS.

Una vez es llevada la muestra a la condición SSS, es empleado el procedimiento gravimétrico, llenando el picnómetro parcialmente con agua e introduciendo en él  $500 \pm 10$  g. de agregado fino en condición SSS y llenándolo con agua adicional hasta aproximadamente 90% de su capacidad. Posteriormente se agita el picnómetro de manera manual para eliminar todas las burbujas de aire por alrededor de 15 a 20 minutos.

Después de eliminar todas las burbujas de aire se ajusta la temperatura del picnómetro y su contenido a  $23.0 \pm 2.0$  °C y llevando el nivel a su capacidad de

calibración o aforo para determinar la masa total del picnómetro, la muestra y el agua.

Luego es removido el agregado fino del picnómetro y es secado a masa constante para determinar su masa. Es también necesario determinar la masa del picnómetro con agua a su capacidad de calibración a una temperatura de  $23.0 \pm 2.0$  °C.

Para determinar la absorción, se emplea una porción separada de  $500 \pm 10$  g de agregado fino en condición SSS para ser secado a masa constante y determinando su masa seca.

Empleando las fórmulas dadas en la norma y con la información obtenida de seguir el procedimiento anterior, se obtienen los resultados de gravedad específica y absorción.

### 3.3 RESULTADOS DE ENSAYOS

#### 3.3.1 AGREGADOS PLANTEL ANGUE



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.1  
PERDIDA DE FINOS POR LAVADO  
ASTM C 117

ENSAYO: 1  
FECHA: 23-jun-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Warena seca (inicial)+ tara = 706.10 gr.  
Wtara = 160.60 gr.  
Warena seca (inicial) = 545.50 gr.

Warena seca (final)+ tara = 681.10 gr.  
Wtara = 160.30 gr.  
Warena seca (final) = 520.80 gr.

%PERDIDA DE FINOS = 4.53

ENSAYO: 2  
FECHA: 30-jun-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Warena seca (inicial)+ tara = 776.20 gr.  
Wtara = 160.40 gr.  
Warena seca (inicial) = 615.80 gr.

Warena seca (final)+ tara = 753.20 gr.  
Wtara = 160.20 gr.  
Warena seca (final) = 593.00 gr.

%PERDIDA DE FINOS = 3.70



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.1  
PERDIDA DE FINOS POR LAVADO  
ASTM C 117

ENSAYO: 3  
FECHA: 1-jul-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Warena seca (inicial)+ tara	=	775.50 gr.	Warena seca (final)+ tara	=	754.00 gr.
Wtara	=	160.20 gr.	Wtara	=	156.20 gr.
Warena seca (inicial)	=	615.30 gr.	Warena seca (final)	=	597.80 gr.

**%PERDIDA DE FINOS = 2.84**

RESUMEN

ENSAYO 1 =	4.53	%
ENSAYO 2 =	3.70	%
ENSAYO 3 =	<u>2.84</u>	%
PROMEDIO =	3.69	%

**% PROMEDIO DE PERDIDA DE FINOS POR LAVADO= 3.69**



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



TRABAJO DE GRADUACION

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

ANALISIS GRANULOMETRICO (MUESTRA PROCEDENTE DE PERDIDA DE FINOS POR LAVADO)  
ASTM C 136

ENSAYO: 1  
FECHA: 25-jun-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Wmuestra + tara = 681.1 gr. Wmuestra Inicial = 520.8 gr.  
Wtara = 180.3 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	0	0	0	0.0	0.0	100.0	95	100
No 8	192.00	31.70	31.70	6.1	6.1	93.9	80	100
No 16	345.90	185.60	184.70	35.5	41.6	58.4	50	85
No 30	306.70	146.40	146.40	28.1	69.7	30.3	25	60
No 50	255.30	95.00	95.00	18.2	87.9	12.1	10	30
No 100	207.00	46.70	46.70	9.0	96.9	3.1	2	10
FONDO	176.60	16.30	16.30	3.1	100	0	0	0
TOTAL			520.8	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 521.7

ERROR = -0.9

TOLERANCIA = 1.66

SUMATORIA MALLA 4 A 100 302.1

M.F	3.02
-----	------

ENSAYO: 2  
FECHA: 1-jul-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Wmuestra + tara = 749.5 gr. Wmuestra = 593.00 gr.  
Wtara = 156.5 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	0	0	0	0.0	0.0	100.0	95	100
No 8	192.90	36.40	36.40	6.1	6.1	93.9	80	100
No 16	369.90	213.40	214.50	36.2	42.3	57.7	50	85
No 30	327.70	171.20	171.20	28.9	71.2	28.8	25	60
No 50	260.80	104.30	104.30	17.6	88.8	11.2	10	30
No 100	206.50	50.00	50.00	8.4	97.2	2.8	2	10
FONDO	173.10	16.80	16.80	2.80	100	0.0	0	0
TOTAL			593.00	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 591.9

ERROR = 1.1

TOLERANCIA = 1.78

SUMATORIA MALLA 4 A 100 305.6

M.F	3.06
-----	------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.2  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

ENSAYO: 3  
FECHA: 5-jul-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Wmuestra + tara = 753 gr.      Wmuestra = 596.40 gr.  
Wtara = 156.6 gr.      Wbolsa = 1.7 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	0	0	0	0.0	0.0	100.0	95	100
No 8	45.10	43.40	43.40	7.3	7.3	92.7	80	100
No 16	234.50	232.80	233.60	39.2	46.4	53.6	50	85
No 30	169.50	167.80	167.80	28.1	74.6	25.4	25	60
No 50	99.00	97.30	97.30	16.3	90.9	9.1	10	30
No 100	43.20	41.50	41.50	7.0	97.9	2.1	2	10
FONDO	14.50	12.80	12.80	2.15	100.0	0.0	0	0
TOTAL			596.4	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 595.6  
 ERROR = 0.8      SUMATORIA MALLA 4 A 100 317.1  
 TOLERANCIA = 1.79      

M.F	3.17
-----	------

RESUMEN

ENSAYO 1 = 3.02  
 ENSAYO 2 = 3.06  
 ENSAYO 3 = 3.17  
 PROMEDIO = 3.08

MODULO DE FINURA PROMEDIO =	3.08
-----------------------------	------



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

GRANULOMETRIA ARENA ANGUE (PERDIDA DE FINOS)





TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.3  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO                    1  
FECHA                    14-jun-04  
MATERIAL:                ARENA  
BANCO:                    ANGUE

Wpic+agua                    1454.60 gr.  
Wpic+agua+arena            1757.30 gr.

Warena+tara                494.2 gr.  
Wtara                        2.2 gr.

Wsss =                    492 gr.

Warena seca + tara        1243.00 gr.  
Wtara                        758.00 gr.

A= Warena seca            485.00 gr.  
B= Wpic+Agua            1454.60 gr.  
C= Wpic+Agua+Arena      1757.30 gr.  
S= Wsss                    492 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) =  $A/(B+S-C)$

DR(SH) =                2.56

DENSIDAD RELATIVA (SSS) =  $S/(B+S-C)$

DR(SSS) =                2.60



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.3  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO	2
FECHA	26-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE

Wpic+agua	1455.10 gr.	Warena+tara	660.4 gr.
Wpic+agua+arena	1759.00 gr.	Wtara	160.4 gr.

Wsss =	500 gr.
--------	---------

Warena seca + tara	1242 gr.
Wtara	760.4 gr.

A= Warena seca	481.60 gr.
B= Wpic+Agua	1455.10 gr.
C= Wpic+Agua+Arena	1759.00 gr.
S= Wsss	500 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) =  $A/(B+S-C)$

DR(SH) =	2.46
----------	------

DENSIDAD RELATIVA (SSS) =  $S/(B+S-C)$

DR(SSS) =	2.55
-----------	------

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara	507.4 gr.	Warena(seca)+tara	646.6 gr.
Wtara	2.1 gr.	Wtara	160.4 gr.
Warena(sss)	505.3 gr.	Warena(seca)	486.2 gr.

% DE ABSORCION =	3.93
------------------	------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
 "COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
 HIDRAULICO"

TABLA 3.3  
**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION**  
**ASTM C 128**

**PESO ESPECIFICO**

ENSAYO	3
FECHA	1-jul-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE

Wpic+agua	1451.20 gr.	Warena+tara	655.9 gr.
Wpic+agua+arena	1760.00 gr.	Wtara	156.5 gr.

Wsss =	499.4 gr.
--------	-----------

Warena seca + tara	1285.60 gr.
Wtara	795.5 gr.

A= Warena seca	490.10 gr.
B= Wpic+Agua	1451.20 gr.
C= Wpic+Agua+Arena	1760.00 gr.
S= Wsss	499.4 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) =	2.57
----------	------

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) =	2.62
-----------	------

**% DE ABSORCION**

Warena(sss)+tara	655.9 gr.	Warena(seca)+tara	650.3 gr.
Wtara	156.5 gr.	Wtara	160.9 gr.
Warena(sss)	499.4 gr.	Warena(seca)	489.4 gr.

% DE ABSORCION =	2.04
------------------	------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CEMENTO HIDRAULICO"

TABLA 3.3  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO 4  
FECHA 2-Jul-04  
MATERIAL: ARENA  
BANCO: ANGUE

Wpic+agua 1453.80 gr.  
Wpic+agua+arena 1782.70 gr.

Warena+tara 662 gr.  
Wtara 160.8 gr.

W<sub>ss</sub> = 501.2 gr.

Warena seca + tara 1250.00 gr.  
Wtara 759 gr.

A= Warena seca 491.00 gr.  
B= Wpic+Agua 1453.80 gr.  
C= Wpic+Agua+Arena 1782.70 gr.  
S= W<sub>ss</sub> 501.2 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) = 2.56

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) = 2.81

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara 503.4 gr.  
Wtara 1.3 gr.  
Warena(sss) 502.1 gr.

Warena(seca)+tara 490.8 gr.  
Wtara 1.5 gr.  
Warena(seca) 489.3 gr.

% DE ABSORCION = 2.62



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.3  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO	4
FECHA	2-jul-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE

Wpic+agua	1453.60 gr.	Warena+tara	662 gr.
Wpic+agua+arena	1762.70 gr.	Wtara	160.8 gr.

Wsss =	501.2 gr.
--------	-----------

Warena seca + tara	1250.00 gr.
Wtara	759 gr.

A= Warena seca	491.00 gr.
B= Wpic+Agua	1453.60 gr.
C= Wpic+Agua+Arena	1762.70 gr.
S= Wsss	501.2 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) =	2.56
----------	------

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) =	2.61
-----------	------

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara	503.4 gr.	Warena(seca)+tara	490.8 gr.
Wtara	1.3 gr.	Wtara	1.5 gr.
Warena(sss)	502.1 gr.	Warena(seca)	489.3 gr.

% DE ABSORCION =	2.62
------------------	------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.4  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128  
ARENA ANGUE

RESUMEN

PESO ESPECIFICO CONDICION: SECADO AL HORNO (SH)

ENSAYO 1	2.56
ENSAYO 2	2.46
ENSAYO 3	2.57
ENSAYO 4	2.56
PROMEDIO	2.54

PESO ESPECIFICO PROMEDIO (SH) = 2.54

PESO ESPECIFICO CONDICION: SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)

ENSAYO 1	2.60
ENSAYO 2	2.55
ENSAYO 3	2.62
ENSAYO 4	2.61
PROMEDIO	2.59

PESO ESPECIFICO PROMEDIO (SSS) = 2.59

% DE ABSORCION

ENSAYO 2	3.93
ENSAYO 3	2.04
ENSAYO 4	2.62
PROMEDIO	2.86

% DE ABSORCION PROMEDIO = 2.86



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
 "COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.5  
 ANALISIS GRANULOMETRICO  
 ASTM C 136

GRANULOMETRIA GRAVA ANGUE PARA ENSAYO DE DESGASTE

ENSAYO: 1  
 FECHA: 25-jun-04

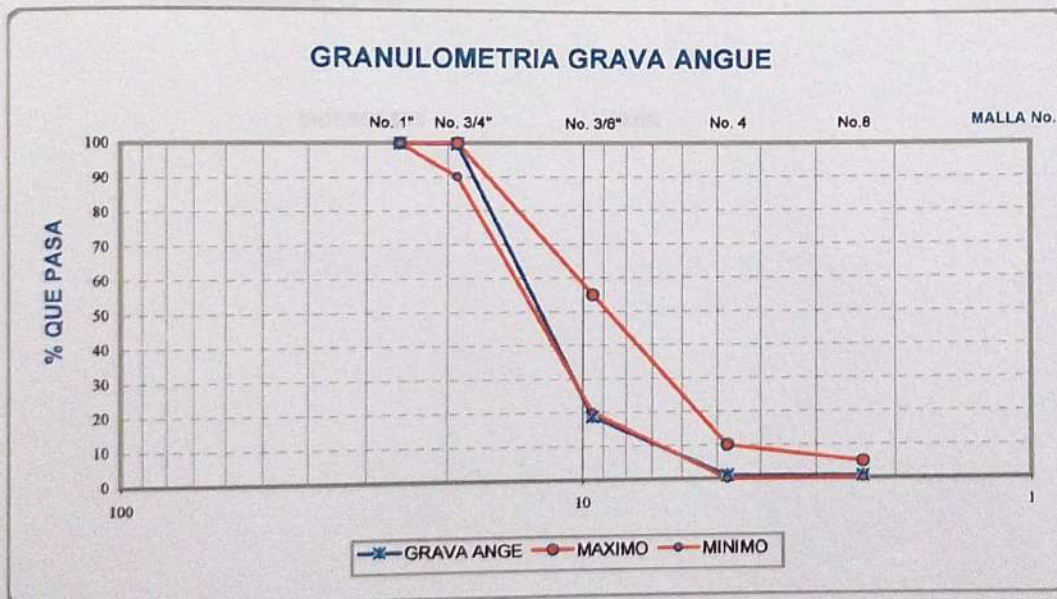
MATERIAL: GRAVA  
 BANCO: ANGUE

Wmuestra + tara = 5268 gr.      Wmuestra = 5246 gr.  
 Wtara = 23 gr.                      Wbolsa = 2.0 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No 1"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 3/4	14.00	14.00	14.00	0.3	0.3	99.7	90	100
No 3/8	4261.00	4259.00	4259.00	81.0	81.3	18.7	20	55
No 4	940.00	938.00	938.00	17.8	99.1	0.9	0	10
No 8	17.00	15.00	15.00	0.3	99.4	0.6	0	5
Fondo	35.00	33.00	33.00	0.6	100.0	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>5259</b>	<b>5259</b>	<b>100.0</b>				

PESO MUESTRA FINAL = 5259  
 ERROR = -14  
 TOLERANCIA = 16.74

GRANULOMETRIA GRAVA ANGUE





TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.6  
**RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR ABRASION E  
IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES**  
ASTM C 131

ENSAYO	1
FECHA	26-ago-04
MATERIAL:	GRAVA
BANCO:	ANGUE
GRADUACION:	B
No DE ESFEREAS	11

Wret 1/2"	2488 gr.
Wret 3/8"	2473 gr.
Wnicial	4961 gr.
Wret No12 = Wfinal	3669 gr.

$$\begin{aligned}\%DESGASTE &= ((Wnicial - Wfinal)/Wnicial) \times 100 \\ &= ((4961 - 3669)/4961) \times 100\end{aligned}$$

$$\%DESGASTE = 26.0\%$$



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA  
ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.7  
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA ARENA ANGUE  
ASTM C 40

ENSAYO	<u>1</u>
FECHA	<u>15-jun-04</u>
COLOR No.	1
OBSERVACION:	PRESENTA UNA COLORACION ROJIZA

ENSAYO	<u>2</u>
FECHA	<u>17-jun-04</u>
COLOR No.	1
OBSERVACION:	PRESENTA UNA COLORACION ROJIZA



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29  
TABLA 3.8  
PESO VOLUMETRICO (SUELTO)

Factor Volumetrico(F) = 353.181 (1/m3)  
Wrecipiente (T) = 5.33 Kg.

ENSAYO:	1
FECHA:	30-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE
Warena+recp. (G) =	9.51 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1476.30 Kg/M3

ENSAYO:	2
FECHA:	30-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE
Warena+recp. (G) =	9.55 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1490.42 Kg/M3

ENSAYO:	3
FECHA:	30-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE
Warena+recp. (G) =	9.51 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1476.30 Kg/M3

RESUMEN

ENSAYO 1 = 1476.30 Kg/M3  
ENSAYO 2 = 1490.42 Kg/M3  
ENSAYO 3 = 1476.30 Kg/M3  
PROMEDIO = 1481.01 Kg/M3

PESO VOLUMETRICO SUELTO PROMEDIO =	1481.01	Kg/M3
------------------------------------	---------	-------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29  
TABLA 3.9  
PESO VOLUMETRICO (VARILLADO)

Factor Volumetrico(F): 353.181 (1/m3)

Wrecipiente (T): 5.33 Kg.

ENSAYO:	1
FECHA:	30-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE
Warena+recp. (G) =	9.77 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1568.12 Kg/M3

ENSAYO:	2
FECHA:	30-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE
Warena+recp. (G) =	9.76 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1564.59 Kg/M3

ENSAYO:	3
FECHA:	30-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	ANGUE
Warena+recp. (G) =	9.8 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1578.72 Kg/M3

RESUMEN		
ENSAYO 1 =	1568.12	Kg/M3
ENSAYO 2 =	1564.59	Kg/M3
ENSAYO 3 =	1578.72	Kg/M3
PROMEDIO =	1570.48	Kg/M3

PESO VOLUMETRICO VARILLADO PROMEDIO =	1570.48	Kg/M3
---------------------------------------	---------	-------



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.10  
RESUMEN DE RESULTADOS  
ARENA ANGUE

PERDIDA DE FINOS POR LAVADO (%)	
ENSAYO 1	4.53
ENSAYO 2	3.70
ENSAYO 3	2.84
PROMEDIO	3.69

MODULO DE FINURA	
ENSAYO 1	3.02
ENSAYO 2	3.06
ENSAYO 3	3.17
PROMEDIO	3.08

GRAVEDAD ESPECIFICA (SH)	
ENSAYO 1	2.56
ENSAYO 2	2.46
ENSAYO 3	2.57
ENSAYO 4	2.56
PROMEDIO	2.54

GRAVEDAD ESPECIFICA

GRAVEDAD ESPECIFICA (SSS)	
ENSAYO 1	2.60
ENSAYO 2	2.55
ENSAYO 3	2.62
ENSAYO 4	2.61
PROMEDIO	2.59

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA	
ENSAYO 1	NO TIENE
ENSAYO 2	NO TIENE
PROMEDIO	NO TIENE

ABSORCION % DE ABSORCION	
ENSAYO 2	3.93
ENSAYO 3	2.04
ENSAYO 4	2.62
PROMEDIO	2.86

DESGASTE	
ENSAYO 1	26.04%

PESO VOLUMETRICO

PESO VARILLADO (Kg/cm3)	
ENSAYO 1	1568.12
ENSAYO 2	1564.59
ENSAYO 3	1578.72
PROMEDIO	1570.48

PESO SUELTO (Kg/cm3)	
ENSAYO 1	1476.30
ENSAYO 2	1490.42
ENSAYO 3	1476.30
PROMEDIO	1481.01

**3.3.2 AGREGADOS PLANTEL JIBOA**



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.11  
PERDIDA DE FINOS POR LAVADO  
ASTM C 117

ENSAYO:	<u>1</u>	MATERIAL:	<u>ARENA</u>		
FECHA:	<u>1-jul-04</u>	BANCO:	<u>JIBOA</u>		
Warena seca (inicial)+ tara	=	610.30 gr.	Warena seca (final)+ tara	=	581.70 gr.
Wtara	=	156.50 gr.	Wtara	=	156.30 gr.
Warena seca (inicial)	=	453.80 gr.	Warena seca (final)	=	425.40 gr.
<b>%PERDIDA DE FINOS = 6.26</b>					

ENSAYO:	<u>2</u>	MATERIAL:	<u>ARENA</u>		
FECHA:	<u>5-jul-04</u>	BANCO:	<u>JIBOA</u>		
Warena seca (inicial)+ tara	=	587.50 gr.	Warena seca (final)+ tara	=	405.80 gr.
Wtara	=	160.60 gr.	Wtara	=	1.50 gr.
Warena seca (inicial)	=	426.90 gr.	Warena seca (final)	=	404.30 gr.
<b>%PERDIDA DE FINOS = 5.29</b>					



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.11  
PERDIDA DE FINOS POR LAVADO  
ASTM C 117

ENSAYO:	<u>3</u>	MATERIAL:	<u>ARENA</u>
FECHA:	<u>28-jul-04</u>	BANCO:	<u>JIBOA</u>
Warena seca (inicial)+ tara	= 604.20 gr.	Warena seca (final)+ tara	= 425.70 gr.
Wtara	= 156.30 gr.	Wtara	= 5.20 gr.
Warena seca (inicial)	= 447.90 gr.	Warena seca (final)	= 420.50 gr.
		<b>%PERDIDA DE FINOS = 6.12</b>	

**RESUMEN**

ENSAYO 1 =	6.26	%
ENSAYO 2 =	5.29	%
ENSAYO 3 =	6.12	%
PROMEDIO =	5.89	%

**% PROMEDIO DE PERDIDA DE FINOS POR LAVADO= 5.89**



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

ANALISIS GRANULOMETRICO (MUESTRA PROCEDENTE DE PERDIDA DE FINOS POR LAVADO)  
ASTM C 136

ENSAYO: 1  
FECHA: 2-jul-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: JIBOA

Wmuestra + tara = 581.7 gr.  
Wtara = 156.3 gr.

Wmuestra inicial = 425.4 gr.  
Wbolsa = 160.6 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	160.8	0.2	0.2	0.0	0.0	100.0	95	100
No 8	222.80	62.2	62.20	14.6	14.7	85.3	80	100
No 16	276.10	115.5	114.60	26.9	41.6	58.4	50	85
No 30	271.00	110.4	110.40	26.0	67.8	32.4	25	60
No 50	229.30	68.7	68.70	16.1	83.7	16.3	10	30
No 100	202.70	42.1	42.10	9.9	93.6	6.4	2	10
FONDO	187.80	27.2	27.20	6.4	100	0	0	0
TOTAL			425.4	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 426.3

ERROR = -0.9

TOLERANCIA = 1.28

SUMATORIA MALLA 4 A 100 301.2

M.F	3.01
-----	------

ENSAYO: 2  
FECHA: 6-jul-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: JIBOA

Wmuestra + tara = 405.8 gr.  
Wtara = 1.5 gr.

Wmuestra = 404.30 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	0	0	0	0.0	0.0	100.0	95	100
No 8	21	19.5	19.50	4.8	4.8	95.2	80	100
No 16	107.20	105.7	105.70	26.1	31.0	69.0	50	85
No 30	128.70	127.2	127.00	31.4	62.4	37.6	25	60
No 50	80.50	79	79.00	19.5	81.9	18.1	10	30
No 100	47.20	45.7	45.70	11.3	93.2	6.8	2	10
FONDO	28.90	27.40	27.40	6.78	100	0.0	0	0
TOTAL			404.30	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 404.5

ERROR = -0.2

TOLERANCIA = 1.21

SUMATORIA MALLA 4 A 100 273.3

M.F	2.73
-----	------



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



TRABAJO DE GRADUACION  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.12  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

ENSAYO: 3  
FECHA: 29-Jul-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: JIBOA

Wmuestra + tara = 583 gr.  
Wtara = 5.2 gr.

Wmuestra = 420.50 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU	% PASA	% MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	0	0	0	0.0	0.0	100.0	95	100
No 8	48.3	48.8	46.80	11.1	11.1	88.9	80	100
No 16	99.00	97.5	97.50	23.2	34.3	65.7	50	85
No 30	116.80	115.30	116.40	27.7	62.0	38.0	25	60
No 50	81.20	79.7	79.70	19.0	81.0	19.0	10	30
No 100	50.40	48.9	48.90	11.6	92.6	7.4	2	10
FONDO	32.70	31.20	31.20	7.42	100.00	0.0	0	0
		TOTAL	420.50	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 419.4  
ERROR = 1.1  
TOLERANCIA = 1.26

SUMATORIA MALLA 4 A 100 281.0

M.F	2.81
-----	------

RESUMEN

ENSAYO 1 = 3.01  
ENSAYO 2 = 2.73  
ENSAYO 3 = 2.81

PROMEDIO = 2.85

MODULO DE FINURA PROMEDIO = 2.85

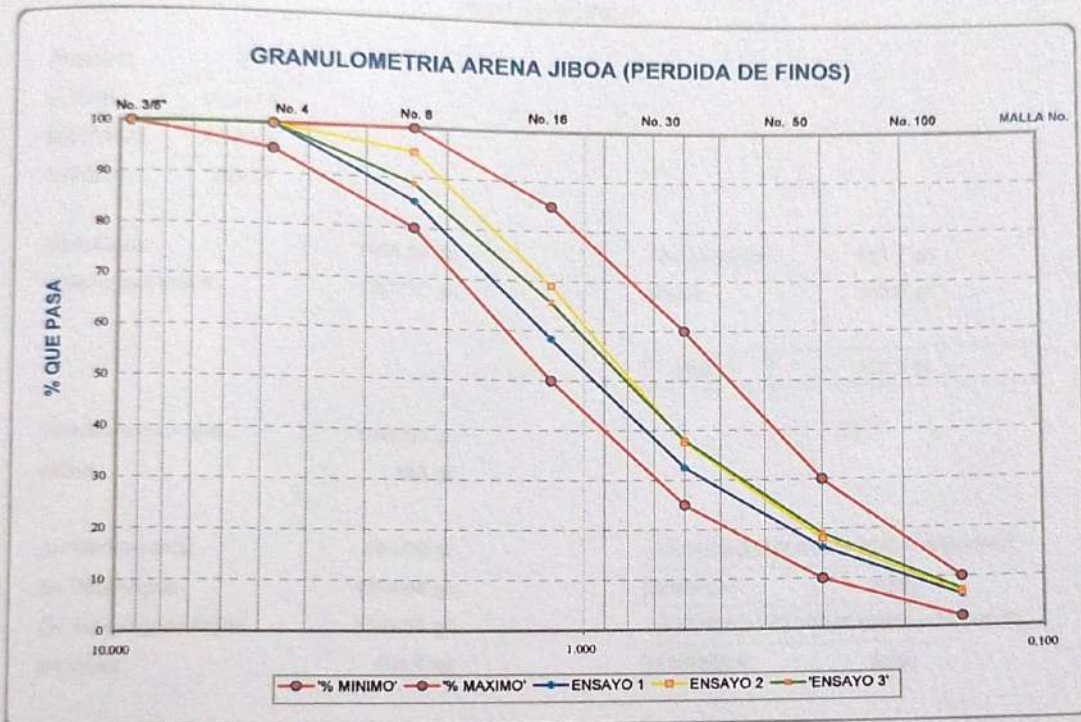


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136





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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.13  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO	1
FECHA	9-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	JIBOA

Wpic+agua	1454.50 gr.	Warena+tara	663.1 gr.
Wpic+agua+arena	1763.30 gr.	Wtara	180.6 gr.

Wsss =	502.5 gr.
--------	-----------

Warena seca + tara	1242.00 gr.
Wtara	758 gr.

A= Warena seca	484.00 gr.
B= Wpic+Agua	1454.50 gr.
C= Wpic+Agua+Arena	1763.30 gr.
S= Wsss	502.5 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) =  $A/(B+S-C)$

DR(SH) =	2.50
----------	------

DENSIDAD RELATIVA (SSS) =  $S/(B+S-C)$

DR(SSS) =	2.59
-----------	------

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara	504.6 gr.	Warena(seca)+tara	485.6 gr.
Wtara	2.1 gr.	Wtara	2.1 gr.
Warena(sss)	502.5 gr.	Warena(seca)	483.5 gr.

% DE ABSORCION =	3.93
------------------	------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.13  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO	2
FECHA	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	JIBOA

Wpic+agua 1454.60 gr.  
Wpic+agua+arena 1764.60 gr.

Warena+tara 508.4 gr.  
Wtara 2.3 gr.

Wsss =	506.1 gr.
--------	-----------

Warena seca + tara 1246.00 gr.  
Wtara 758 gr.

A= Warena seca 488.00 gr.  
B= Wpic+Agua 1454.60 gr.  
C= Wpic+Agua+Arena 1764.60 gr.  
S= Wsss 506.1 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) =	2.49
----------	------

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) =	2.58
-----------	------

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara 666.6 gr.  
Wtara 160.5 gr.  
Warena(sss) 506.1 gr.

Warena(seca)+tara 647.7 gr.  
Wtara 160.5 gr.  
Warena(seca) 487.2 gr.

% DE ABSORCION =	3.88
------------------	------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.13  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO	3
FECHA	8-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	JIBOA

Wpic+agua 1454.80 gr.  
Wpic+agua+arena 1761.30 gr.

Warena+tara 506.3 gr.  
Wtara 2.2 gr.

Wsss =	504.1 gr.
--------	-----------

Warena seca + tara 1244.00 gr.  
Wtara 758 gr.

A= Warena seca 486.00 gr.  
B= Wpic+Agua 1454.80 gr.  
C= Wpic+Agua+Arena 1761.30 gr.  
S= Wsss 504.1 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) =	2.46
----------	------

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) =	2.55
-----------	------



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.14

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION**  
**ASTM C 128**  
**ARENA JIBOA**

**RESUMEN**

**PESO ESPECIFICO CONDICION: SECADO AL HORNO (SH)**

ENSAYO 1	2.50
ENSAYO 2	2.49
ENSAYO 3	2.46
PROMEDIO	2.48

**PESO ESPECIFICO PROMEDIO (SH) = 2.48**

**PESO ESPECIFICO CONDICION: SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)**

ENSAYO 1	2.59
ENSAYO 2	2.58
ENSAYO 3	2.55
PROMEDIO	2.58

**PESO ESPECIFICO PROMEDIO (SSS) = 2.58**

**% DE ABSORCION**

ENSAYO 1	3.93
ENSAYO 2	3.88
PROMEDIO	3.90

**% DE ABSORCION PROMEDIO = 3.90**



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.15  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

GRANULOMETRIA GRAVA JIBOA PARA ENSAYO DE DESGASTE

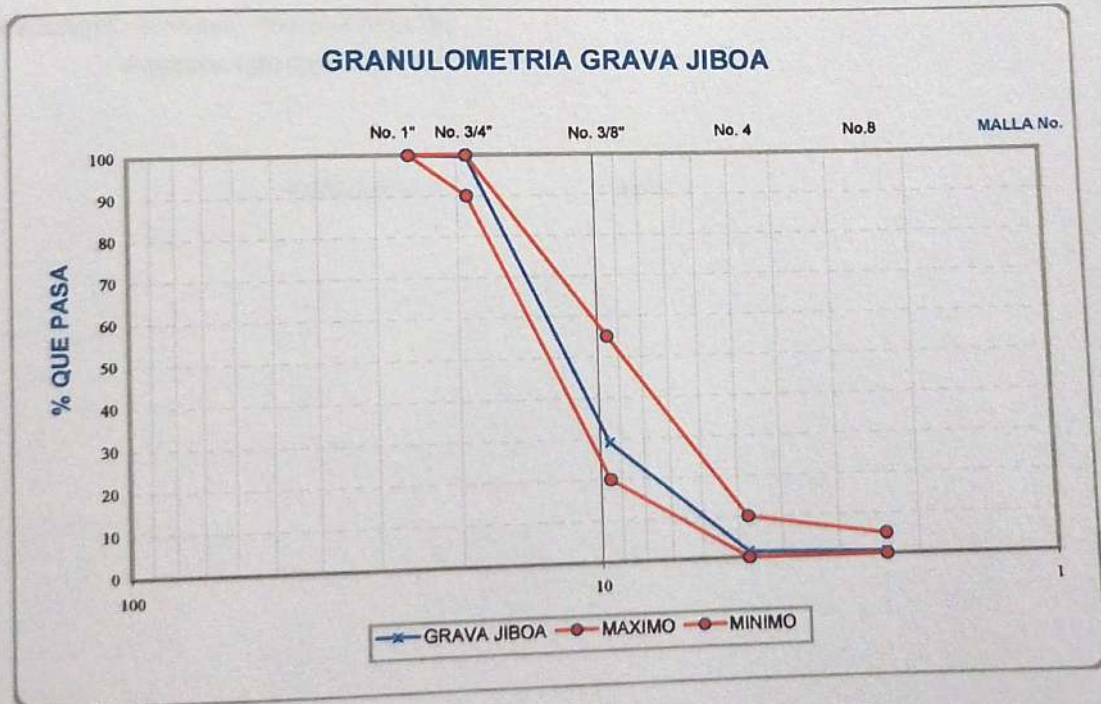
ENSAYO: 1  
FECHA: 17-jun-04

MATERIAL: GRAVA  
BANCO: JIBOA

Wmuestra + tara = 5769 gr.      Wmuestra = 5741 gr.  
Wtara = 28 gr.                      Wbolsa = 2.0 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No 1"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 3/4	17.00	17.00	17.00	0.3	0.3	99.7	90	100
No 3/8	4053.00	4051.00	4051.00	70.7	71.0	29.0	20	55
No 4	1584.00	1582.00	1582.00	27.6	98.6	1.4	0	10
No 8	49.00	47.00	47.00	0.8	99.4	0.6	0	5
Fondo	36.00	34.00	34.00	0.6	100	0	0	0
TOTAL	5731	5731	5731	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 5731  
ERROR = 10  
TOLERANCIA = 17.22





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



TRABAJO DE GRADUACION:

COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO

RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
ASTM C 131

TABLA 3.16

ENSAYO	1
FECHA	30-jul-04
MATERIAL:	GRAVA
BANCO:	JIBOA
GRADUACION:	B
No DE ESFEREAS	11

Wret 1/2"	2537.8 gr.
Wret 3/8"	2560.8 gr.
W inicial	5098.6 gr.
Wret No12 = W final	4280.8 gr.

$$\% \text{DESGASTE} = ((W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}) / W_{\text{inicial}}) \times 100$$
$$= ((5098.6 - 4280.8) / 5098.6) \times 100$$

$$\% \text{DESGASTE} = 16.0\%$$



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.17  
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA ARENA JIBOA  
ASTM C 40

ENSAYO	<u>1</u>
FECHA	<u>15-jun-04</u>
COLOR No.	1
OBSERVACION:	<hr/> <hr/>

ENSAYO	<u>2</u>
FECHA	<u>17-jun-04</u>
COLOR No.	1
OBSERVACION:	<hr/> <hr/>



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29  
TABLA 3.18  
PESO VOLUMETRICO (SUELTO)

Factor Volumetrico(F) = 353.181 (1/m<sup>3</sup>)  
Wrecipiente (T) = 5.33 Kg

1	
ENSAYO:	1-jul-04
FECHA:	ARENA
MATERIAL:	JIBOA
BANCO:	
Warena+recp. (G) =	9.77 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1568.12 Kg/M3

2	
ENSAYO:	1-jul-04
FECHA:	ARENA
MATERIAL:	JIBOA
BANCO:	
Warena+recp. (G) =	9.76 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1564.59 Kg/M3

3	
ENSAYO:	1-jul-04
FECHA:	ARENA
MATERIAL:	JIBOA
BANCO:	
Warena+recp. (G) =	9.78 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1571.66 Kg/M3

RESUMEN

ENSAYO 1 = 1568.12 Kg/M3  
ENSAYO 2 = 1564.59 Kg/M3  
ENSAYO 3 = 1571.66 Kg/M3  
PROMEDIO = 1568.12 Kg/M3

PESO VOLUMETRICO SUELTO PROMEDIO =	1568.12	Kg/M3
------------------------------------	---------	-------



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29  
TABLA 3.19  
PESO VOLUMETRICO (VARILLADO)

Factor Volumetrico(F): 353.181 (1/m3)  
Wrecipiente (T): 5.33 Kg.

ENSAYO:	1
FECHA:	1-jul-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	JIBOA
Warena+recp. (G) = 10.11 Kg.	
PV= (G-T)*F	
PV= 1688.21 Kg/M3	

ENSAYO:	2
FECHA:	1-jul-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	JIBOA
Warena+recp. (G) = 10.11 Kg.	
PV= (G-T)*F	
PV= 1688.21 Kg/M3	

ENSAYO:	3
FECHA:	1-jul-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	JIBOA
Warena+recp. (G) = 10.12 Kg.	
PV= (G-T)*F	
PV= 1691.74 Kg/M3	

RESUMEN		
ENSAYO 1 =	1688.21	Kg/M3
ENSAYO 2 =	1688.21	Kg/M3
ENSAYO 3 =	1691.74	Kg/M3
PROMEDIO =	1689.38	Kg/M3

PESO VOLUMETRICO VARILLADO PROMEDIO =	1689.38	Kg/M3
---------------------------------------	---------	-------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.20  
**RESUMEN DE RESULTADOS  
ARENA JIBOA**

PERDIDA DE FINOS POR LAVADO (%)	
ENSAYO 1	6.26
ENSAYO 2	5.29
ENSAYO 3	6.12
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.89</b>

MODULO DE FINURA	
ENSAYO 1	3.01
ENSAYO 2	2.73
ENSAYO 3	2.81
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.85</b>

GRAVEDAD ESPECIFICA (SH)	
ENSAYO 1	2.50
ENSAYO 2	2.49
ENSAYO 3	2.46
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.48</b>

GRAVEDAD ESPECIFICA

GRAVEDAD ESPECIFICA (SSS)	
ENSAYO 1	2.59
ENSAYO 2	2.58
ENSAYO 3	2.55
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.58</b>

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA	
ENSAYO 1	NO TIENE
ENSAYO 2	NO TIENE
<b>PROMEDIO</b>	<b>NO TIENE</b>

ABSORCION	
% DE ABSORCION	
ENSAYO 1	3.93
ENSAYO 2	3.88
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.90</b>

DESGASTE	
ENSAYO 1	16.04%

PESO VOLUMETRICO

PESO VARILLADO (Kg/cm3)	
ENSAYO 1	1688.21
ENSAYO 2	1688.21
ENSAYO 3	1691.74
<b>PROMEDIO</b>	<b>1689.38</b>

PESO SUELTO (Kg/cm3)	
ENSAYO 1	1568.12
ENSAYO 2	1564.59
ENSAYO 3	1571.66
<b>PROMEDIO</b>	<b>1568.12</b>

**3.3.3 AGREGADOS BANCO CANGREJERA**



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.21  
PERDIDA DE FINOS POR LAVADO  
ASTM C 117

ENSAYO:	<u>1</u>	MATERIAL:	<u>ARENA</u>
FECHA:	<u>15-jun-04</u>	BANCO:	<u>CANGREJERA</u>
Warena seca (inicial)+ tara	= 570.40 gr.	Warena seca (final)+ tara	= 1166.00 gr.
Wtara	= 160.30 gr.	Wtara	= 760.00 gr.
Warena seca (inicial)	= 410.10 gr.	Warena seca (final)	= 406.00 gr.
<b>%PERDIDA DE FINOS = 1.00</b>			

ENSAYO:	<u>2</u>	MATERIAL:	<u>ARENA</u>
FECHA:	<u>16-jun-04</u>	BANCO:	<u>CANGREJERA</u>
Warena seca (inicial)+ tara	= 553.30 gr.	Warena seca (final)+ tara	= 1188.00 gr.
Wtara	= 156.40 gr.	Wtara	= 796.00 gr.
Warena seca (inicial)	= 396.90 gr.	Warena seca (final)	= 392.00 gr.
<b>%PERDIDA DE FINOS = 1.23</b>			



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.21  
PERDIDA DE FINOS POR LAVADO  
ASTM C 117

ENSAYO:	<u>3</u>	MATERIAL:	<u>ARENA</u>
FECHA:	<u>15-jun-04</u>	BANCO:	<u>CANGREJERA</u>
Warena seca (inicial)+ tara	= 580.10 gr.	Warena seca (final)+ tara	= 1173.00 gr.
Wtara	= 160.60 gr.	Wtara	= 759.00 gr.
Warena seca (inicial)	= 419.50 gr.	Warena seca (final)	= 414.00 gr.
<b>%PERDIDA DE FINOS =</b>		<b>1.31</b>	

RESUMEN		
ENSAYO 1 =	1.00	%
ENSAYO 2 =	1.23	%
ENSAYO 3 =	1.31	%
PROMEDIO =	1.18	%

<b>% PROMEDIO DE PERDIDA DE FINOS POR LAVADO=</b>	<b>1.18</b>
---	-------------



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.22  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

(PROCEDENTE DE PÉRDIDA DE FINOS POR LAVADO)

ENSAYO: 1  
FECHA: 21-jun-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: CANGREJERA

Wmuestra + tara = 562.6 gr.      Wmuestra = 392 gr.  
Wtara = 160.6 gr.      Wbolsa = 2.2 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	11.2	9	9	2.3	2.3	97.7	95	100
No 8	37.40	35.2	35.20	9.0	11.3	88.7	80	100
No 16	56.10	53.9	53.90	13.8	25.0	75.0	50	85
No 30	86.20	84	84.00	21.4	46.5	53.5	25	60
No 50	121.10	118.9	119.60	30.5	77.0	23.0	10	30
No 100	77.40	75.2	75.20	19.2	96.1	3.9	2	10
FONDO	17.30	15.1	15.10	3.9	100	0	0	0
TOTAL			392	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 391.3  
ERROR = 0.7      SUMATORIA MALLA 4 A 100 258.2  
TOLERANCIA = 1.18      M.F 2.6

ENSAYO: 2  
FECHA: 29-jun-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: CANGREJERA

Wmuestra + tara = 569.1 gr.      Wmuestra = 412.30 gr.  
Wtara = 156.8 gr.      Wbolsa = 9.1 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	15.2	6.1	6.1	1.5	1.5	98.5	95	100
No 8	47.4	38.3	38.30	9.3	10.8	89.2	80	100
No 16	62.50	53.4	54.10	13.1	23.9	76.1	50	85
No 30	94.70	85.6	85.60	20.8	44.7	55.3	25	60
No 50	135.90	126.8	126.80	30.8	75.4	24.6	10	30
No 100	91.50	82.4	82.40	20.0	95.4	4.6	2	10
FONDO	28.10	19.00	19.00	4.6	100.0	0.0	0	0
TOTAL			412.3	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 411.6  
ERROR = 0.7      SUMATORIA MALLA 4 A 100 251.6  
TOLERANCIA = 1.24      M.F 2.5



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

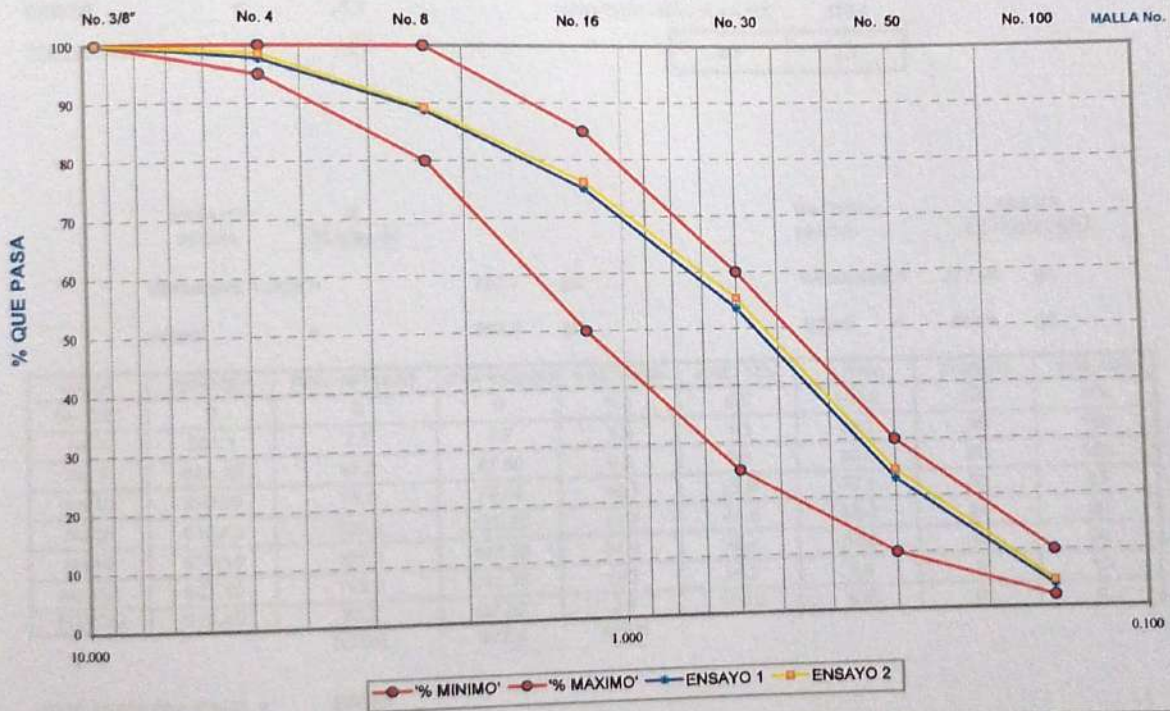
TABLA 3.22  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

(PROCEDENTE DE PÉRDIDA DE FINOS POR LAVADO)

RESUMEN  
ENSAYO 1 = 2.6  
ENSAYO 2 = 2.5  
PROMEDIO = 2.6

MODULO DE FINURA PROMEDIO = 2.6

GRANULOMETRIA ARENA CANGREJERA (PERDIDA DE FINOS)





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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.23  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

ENSAYO: 1  
FECHA: 26-may-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: CANGREJERA

Wmuestra + tara = 750.1 gr.  
Wmuestra Inicial = 589.7 gr.

Wtara = 160.4 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	167.3	6.9	6.9	1.2	1.2	98.8	95	100
No 8	230.10	69.70	69.70	11.8	13.0	87.0	80	100
No 16	256.20	95.80	95.80	16.2	29.2	70.8	50	85
No 30	288.60	128.20	128.20	21.7	51.0	49.0	25	60
No 50	328.40	168.00	166.90	28.3	79.3	20.7	10	30
No 100	261.80	101.40	101.40	17.2	96.5	3.5	2	10
FONDO	181.20	20.8	20.80	3.5	100	0	0	0
TOTAL			589.7	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 590.8  
ERROR = -1.1  
TOLERANCIA = 1.77

SUMATORIA MALLA 4 A 100 270.1

M.F	2.7
-----	-----

ENSAYO: 2  
FECHA: 28-may-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: CANGREJERA

Wmuestra + tara = 737.7 gr.  
Wmuestra = 577.20 gr.

Wtara = 160.5 gr.  
Wtara = 493.4 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PASA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	501.1	7.7	7.7	1.3	1.3	98.7	95	100
No 8	541.20	47.8	47.80	8.3	9.6	90.4	80	100
No 16	570.00	76.6	76.60	13.3	22.9	77.1	50	85
No 30	618.60	125.2	125.20	21.7	44.6	55.4	25	60
No 50	678.10	184.7	183.95	31.9	76.4	23.6	10	30
No 100	607.15	113.8	113.75	19.7	96.2	3.8	2	10
FONDO	515.60	22.2	22.20	3.8	100.0	0.0	0	0
TOTAL			577.2	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 577.95  
ERROR = -0.75  
TOLERANCIA = 1.73

SUMATORIA MALLA 4 A 100 251.0

M.F	2.5
-----	-----



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.23  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

ENSAYO: 3  
FECHA: 3-jun-04

MATERIAL: ARENA  
BANCO: CANGREJERA

Wmuestra + tara = 529.7 gr.      Wmuestra = 373.60 gr.  
Wtara = 156.1 gr.

MALLA	PESO RET	PESO RET DEST.	COMPENSADO	% RETENIDO	% RET ACU.	% PAGA	%MINIMO	% MAXIMO
No. 3/8"	0	0	0	0.0	0.0	100.0	100	100
No 4	164.2	8.10	8.1	2.2	2.2	97.8	95	100
No 8	188.20	32.10	32.10	8.59	10.8	89.2	80	100
No 16	211.20	55.10	55.10	14.75	25.5	74.5	50	85
No 30	240.00	83.90	83.90	22.46	48.0	52.0	25	60
No 50	269.20	113.10	113.40	30.35	78.3	21.7	10	30
No 100	223.90	67.80	67.80	18.15	96.5	3.5	2	10
FONDO	169.30	13.2	13.20	3.53	100	0	0	0
TOTAL			373.6	100.0				

PESO MUESTRA FINAL = 373.3  
ERROR = 0.3  
TOLERANCIA = 1.12

SUMATORIA MALLA 4 A 100 261.2

M.F	2.6
-----	-----

RESUMEN

ENSAYO 1 = 2.7  
ENSAYO 2 = 2.5  
ENSAYO 3 = 2.6  
PROMEDIO = 2.6

MODULO DE FINURA PROMEDIO =

2.6

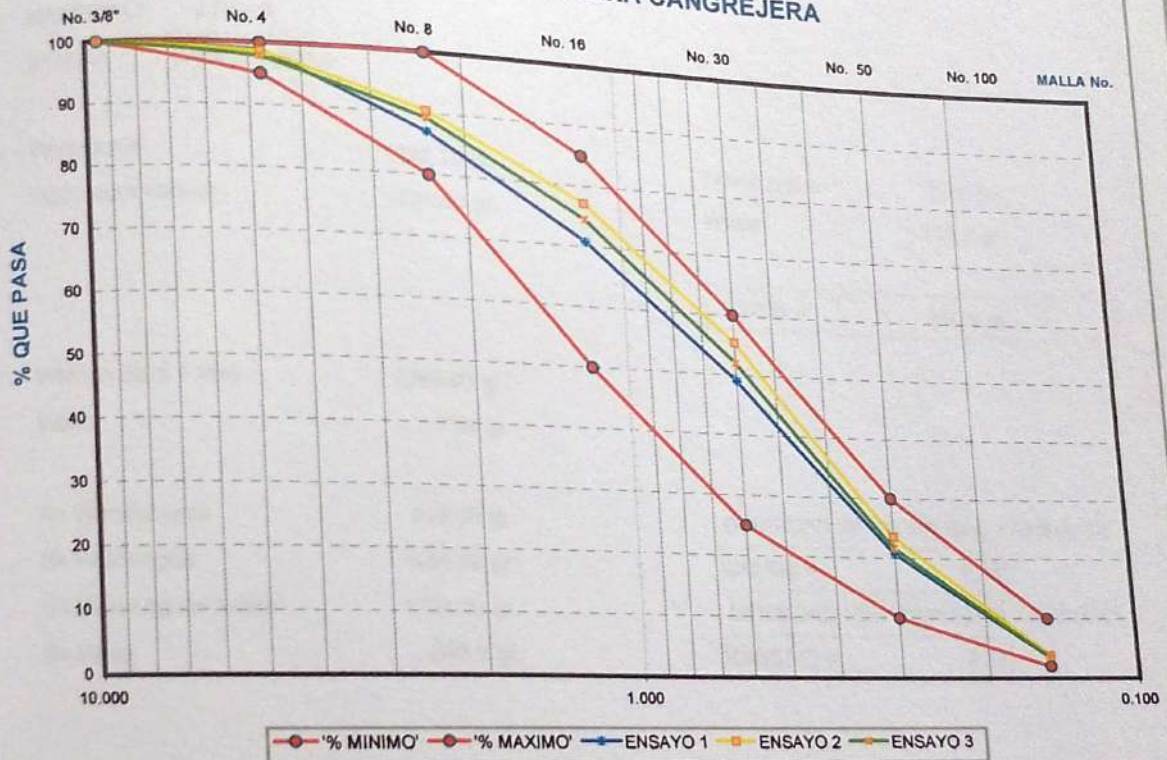


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO  
TRABAJO DE GRADUACION:  
ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C 136

### GRANULOMETRIA ARENA CANGREJERA





COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO\*

TRABAJO DE GRADUACION:

HIDRAULICO\*

TABLA 3.24

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO 1  
FECHA 1-may-04  
MATERIAL: ARENA  
BANCO: CANGREJERA

Wpic+agua 1452.10 gr.  
Wpic+agua+arena 1764.20 gr.

Warena+tara 700.5 gr.  
Wtara 160.3 gr.

Wsss = 540.2 gr.

Warena seca + tara 1269.00 gr.  
Wtara 759 gr.

A= Warena seca 510.00 gr.  
B= Wpic+Agua 1452.10 gr.  
C= Wpic+Agua+Arena 1764.20 gr.  
S= Wsss 540.2 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) = 2.24

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) = 2.37

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara 393.3 gr. Warena(seca)+tara 383.2 gr.  
Wtara 160.3 gr. Wtara 160.4 gr.  
Warena(sss) 233 gr. Warena(seca) 222.8 gr.

% DE ABSORCION = 4.58



COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO

TRABAJO DE GRADUACION  
 TABLA 3.24  
 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
 ASTM C 128

PESO ESPECIFICO

ENSAYO: 2  
 FECHA: 3-jun-04  
 MATERIAL: ARENA  
 BANCO: CANGREJERA

Wpic+agua: 1454.70 gr.  
 Wpic+agua+arena: 1747.10 gr.

Warena+tara: 661.9 gr.  
 Wtara: 156.6 gr.

Wsss = 505.3 gr.

Warena seca + tara: 1229.00 gr.  
 Wtara: 757 gr.

A= Warena seca: 472.00 gr.  
 B= Wpic+Agua: 1454.70 gr.  
 C= Wpic+Agua+Arena: 1747.10 gr.  
 S= Wsss: 505.3 gr.

DENSIDAD RELATIVA (SH) = A/(B+S-C)

DR(SH) = 2.22

DENSIDAD RELATIVA (SSS) = S/(B+S-C)

DR(SSS) = 2.37

% DE ABSORCION

Warena(sss)+tara: 661.9 gr.  
 Wtara: 156.6 gr.  
 Warena(sss): 505.3 gr.

Warena(seca)+tara: 632.7 gr.  
 Wtara: 156.6 gr.  
 Warena(seca): 476.1 gr.

% DE ABSORCION = 6.13



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.25  
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
ASTM C 128

ARENA CANGREJERA

RESUMEN

PESO ESPECIFICO CONDICION: SECADO AL HORNO (SH)

ENSAYO 1	2.24
ENSAYO 2	2.22
PROMEDIO	2.23

PESO ESPECIFICO PROMEDIO (SH) = 2.23

PESO ESPECIFICO CONDICION: SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (SSS)

ENSAYO 1	2.37
ENSAYO 2	2.37
PROMEDIO	2.37

PESO ESPECIFICO PROMEDIO (SSS) = 2.37

% DE ABSORCION

ENSAYO 1	4.58
ENSAYO 2	6.13
PROMEDIO	5.36

% DE ABSORCION PROMEDIO = 5.36



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.26  
PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29

PESO VOLUMETRICO (SUELTO)

Factor Volumetrico(F) = 353.181 (1/m<sup>3</sup>)  
Wrecipiente (T) = 5.33 Kg.

ENSAYO:	1
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.29 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1398.60 Kg/M3

ENSAYO:	2
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.37 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1426.85 Kg/M3

ENSAYO:	3
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.24 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1380.94 Kg/M3

ENSAYO:	4
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.22 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1373.87 Kg/M3

RESUMEN

ENSAYO 1 =	1398.60	Kg/M3
ENSAYO 2 =	1426.85	Kg/M3
ENSAYO 3 =	1380.94	Kg/M3
ENSAYO 4 =	1373.87	Kg/M3
ENSAYO 5 =	1402.13	Kg/M3
PROMEDIO =	1396.48	Kg/M3

ENSAYO:	5
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.3 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1402.13 Kg/M3

PESO VOLUMETRICO SUELTO PROMEDIO =

1396.48

Kg/M3



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



TRABAJO DE GRADUACION.  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.27  
PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29

PESO VOLUMETRICO (VARILLADO)

Factor Volumetrico(F): 353.181 (1/m<sup>3</sup>)  
Wrecipiente (T): 5.33 Kg.

ENSAYO:	1
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.47 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1462.17 Kg/M3

ENSAYO:	2
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.54 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1486.89 Kg/M3

ENSAYO:	3
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.61 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1511.61 Kg/M3

ENSAYO:	4
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.48 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1465.70 Kg/M3

ENSAYO:	5
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.53 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1483.36 Kg/M3

ENSAYO:	6
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.55 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1490.42 Kg/M3



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 3.27  
PESO VOLUMETRICO  
ASTM C 29

PESO VOLUMETRICO (VARILLADO)

ENSAYO:	7
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.56 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1493.96 Kg/M3

ENSAYO:	8
FECHA:	10-jun-04
MATERIAL:	ARENA
BANCO:	CANGREJERA
Warena+recp. (G) =	9.57 Kg.
PV= (G-T)*F	
PV=	1497.49 Kg/M3

RESUMEN		
ENSAYO 1 =	1462.17	Kg/M3
ENSAYO 2 =	1486.89	Kg/M3
ENSAYO 3 =	1511.61	Kg/M3
ENSAYO 4 =	1465.70	Kg/M3
ENSAYO 5 =	1483.36	Kg/M3
ENSAYO 6 =	1490.42	Kg/M3
ENSAYO 7 =	1493.96	Kg/M3
ENSAYO 8 =	1497.49	Kg/M3
PROMEDIO =	1486.45	Kg/M3

PESO VOLUMETRICO VARILLADO PROMEDIO =	1486.45	Kg/M3
---------------------------------------	---------	-------





TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 3.29

RESUMEN DE RESULTADOS  
ARENA CANGREJERA

PERDIDA DE FINOS POR LAVADO (%)	
ENSAYO 1	1.00
ENSAYO 2	1.23
ENSAYO 3	1.31
PROMEDIO	1.18

MODULO DE FINURA	
ENSAYO 1	2.70
ENSAYO 2	2.51
ENSAYO 3	2.61
ENSAYO 4	2.58
ENSAYO 5	2.52
PROMEDIO	2.58

GRAVEDAD ESPECIFICA (SH)	
ENSAYO 1	2.24
ENSAYO 2	2.22
PROMEDIO	2.23

GRAVEDAD ESPECIFICA

GRAVEDAD ESPECIFICA (SSS)	
ENSAYO 1	2.37
ENSAYO 2	2.37
PROMEDIO	2.37

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA	
ENSAYO No.	COLOR No.
ENSAYO 1	2.00
ENSAYO 2	2.00
PROMEDIO	2.00

ABSORCION	
% DE ABSORCION	
ENSAYO 1	4.58
ENSAYO 2	6.13
PROMEDIO	5.36

PESO VARILLADO (Kg/cm <sup>3</sup> )	
ENSAYO 1	1462.17
ENSAYO 2	1486.89
ENSAYO 3	1511.61
ENSAYO 4	1465.70
ENSAYO 5	1483.36
ENSAYO 6	1490.42
ENSAYO 7	1493.96
ENSAYO 8	1497.49
PROMEDIO	1486.45

PESO VOLUMETRICO

PESO SUELTO (Kg/cm <sup>3</sup> )	
ENSAYO 1	1398.60
ENSAYO 2	1426.85
ENSAYO 3	1380.94
ENSAYO 4	1373.87
ENSAYO 5	1402.13
PROMEDIO	1396.48

**3.3.4 RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS**



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



TRABAJO DE GRADUACIÓN:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACIÓN COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA  
ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO"

### RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS

Pérdida de finos por lavado Promedio (%)	
Arena Angue	3.69
Arena Jiboa	5.89
Arena Cangrejera	1.18

Módulo de Finura Promedio	
Arena Angue	3.08
Arena Jiboa	2.85
Arena Cangrejera	2.58

Gravedad Específica ( SH )	
Arena Angue	2.54
Arena Jiboa	2.48
Arena Cangrejera	2.23

#### Gravedad Específica Promedio

Gravedad Específica ( SSS )	
Arena Angue	2.59
Arena Jiboa	2.58
Arena Cangrejera	2.37

Contenido de Impurezas Orgánicas	
Arena Angue	NO TIENE
Arena Jiboa	NO TIENE
Arena Cangrejera	2

Absorción Promedio (%)	
Absorción	
Arena Angue	2.86
Arena Jiboa	3.90
Arena Cangrejera	5.36

% de Desgaste	
Grava Angue	26.04%
Grava Jiboa	16.04%

#### Peso Volumétrico Promedio ( kg/ m3)

Peso Varillado	
Arena Angue	1570.48
Arena Jiboa	1689.38
Arena Cangrejera	1486.45

Peso Suelto	
Arena Angue	1481.01
Arena Jiboa	1568.12
Arena Cangrejera	1396.48

### 3.4 Análisis de resultados

Las muestras obtenidas para la realización de las pruebas de laboratorio del presente capítulo, corresponden al periodo entre mayo y junio de 2004, cuyos resultados se analizan a continuación:

#### 3.4.1 Perdida de finos por lavado

Resultados:

Arenas Trituradas:

- Plantel Angue = 3.69 %
- Plantel Jiboa = 5.89 %

Arena Natural

- Banco Cangrejera = 1.18 %

La norma ASTM C-33-01 permite hasta 7% de finos para arena triturada y 5% para arena natural, de lo que se observa, que las tres arenas en estudio cumplen con la normativa en mención.

Los finos pueden ser polvo de roca, limos y arcillas, siendo los dos últimos contaminantes indeseables en el concreto, ya que pueden reaccionar con el cemento, y a la vez se adhieren a las partículas mayores de arena y grava restando adherencia entre pasta y agregado.

Según los resultados, la cantidad de finos que poseen las arenas trituradas es mayor que las naturales.

Los finos que poseen las arenas trituradas pueden ser originados debido a:

- La contaminación propia del banco
- El proceso de extracción
- Los finos que se producen durante el proceso de trituración, que dependen del tipo de maquinaria y del número de etapas de trituración.

### **3.4.2 Análisis granulométrico**

Resultados modulo de finura:

Arenas Trituradas:

- Plantel Angue = 3.08
- Plantel Jiboa = 2.85

Arena Natural

- Banco Cangrejera = 2.58

La norma ASTM C-33-01 permite un modulo de finura entre 2.3 hasta 3.1, esta designación aplica para agregados naturales como triturados. Por lo tanto, se puede mencionar que los módulos de finura obtenidos cumplen con la normativa, tanto las arenas trituradas como las naturales.

El módulo de finura nos indica que tan gruesa o fina es una arena; es decir, que las arenas con módulos de finura bajo son finas; y las arenas con módulo de finura altos son arenas gruesa. En este sentido se observa que las arenas procedentes de los Planteles Angue y Jiboa son más gruesas que la arena del Banco Cangrejera. Esto se refleja también al observar los porcentajes retenidos en las diferentes mallas (ver tablas 3.2, 3.12 y 3.22), los cuales muestran una incidencia de retención en la malla número 16 para el caso de Plantel Angue, malla número 30 para Plantel Jiboa y malla 50 para Banco Cangrejera.

Las curvas granulométricas de las arenas en estudio reflejan que son agregados que están dentro de los límites de tamaños propuestos en la normativa ASTM C-33-01, esto aplica tanto para las arenas trituradas como para las naturales.

### 3.4.3 Gravedad específica y absorción

Resultados:

*Arenas Trituradas:*

- Plantel Angue:

Gravedad Especifica Seca al Horno = 2.54

Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca = 2.59

Absorción = 2.86 %

- Plantel Jiboa

Gravedad Especifica Seca al Horno	= 2.48
Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca	= 2.58
Absorción	= 3.90 %

*Arena Natural:*

- Banco Cangrejera

Gravedad Especifica Seca al Horno	= 2.23
Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca	= 2.37
Absorción	= 5.36 %

La norma ASTM C-128-00 no establece límites permisibles para valores de gravedad específica, sin embargo la mayoría de los agregados tienen gravedades específicas comprendidas entre 2.4 y 2.8<sup>35</sup>. Partiendo de ello puede estimarse que, las arenas trituradas se encuentran dentro de este rango, por lo que pueden ser usadas en concretos de peso normal.

La arena del Plantel Jiboa posee menor gravedad específica por estar contaminada con partículas de peso liviano. Por el contrario la arena de Plantel Angue carece de esta contaminación, por lo que presenta una mayor gravedad específica con respecto a la arena del Plantel Jiboa.

<sup>35</sup> FUENTE: Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. Comisión Federal de Electricidad (CFE), México 1994.

Por otra parte la arena natural en estudio, no cumple con esta especificación de límites de gravedad específica, esto es debido a su alto contenido de pómez, dando como resultado una arena de baja densidad, alta absorción y porosidad con respecto a las arenas trituradas en estudio.

El agregado fino generalmente debe tener niveles de absorción dentro de los rangos de 0.2% a 2%<sup>36</sup>. En cuanto a los porcentajes de absorción obtenidos, ningún resultado se encuentra dentro de este rango, haciéndose notar que la arena natural presenta una mayor absorción por los motivos expuestos en el párrafo anterior.

#### 3.4.4 Contenido de impurezas orgánicas

Resultados:

Arenas Trituradas:

- Plantel Angue: no tiene
- Plantel Jiboa : no tiene

Arena Natural

- Banco Cangrejera: color # 2

<sup>36</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. México 1992

Según la norma ASTM C-40-99, las arenas que presentan una coloración menor o igual a 3 son buenas para el uso en concreto. Con lo que se observa que las tres arenas ensayadas cumplen con esta especificación.

En base a los resultados obtenidos se observa que la arena natural presenta una coloración mayor con respecto a las arenas trituradas. Esto se debe a que existe mayor posibilidad que las primeras tengan contaminación con orgánicos por ser procedentes de bancos naturales. En cambio para las arenas trituradas se tiene un mayor control durante la extracción (eliminación de la capa orgánica) y procesamiento del material (precibado y lavado), reduciendo la posibilidad de contaminación con materia orgánica.

#### **3.4.5 Resistencia al desgaste del agregado grueso.**

- Plantel Angue: 26.04%
- Plantel Jiboa : 16.04%

Según la ASTM C-131-03, los valores obtenidos están dentro de los límites permisibles que comprenden el intervalo de 10% a 45%, lo que indica que las arenas en estudio cumplen con la normativa.

Los resultados de estas pruebas son indicadores particulares de la calidad física del agregado y de su comportamiento. Los agregados con altas pérdidas

en estas pruebas se degradan fácilmente y resulta difícil mantener su curva granulométrica intacta durante los procesos de manejo del material, incrementando la cantidad de finos.

Comparando los resultados obtenidos, la arena del Plantel Jiboa presenta una mayor resistencia al desgaste, lo que se debe a la naturaleza de su roca de origen (basalto), la cual posee mayor dureza que la caliza del Plantel Angue.

Además esta propiedad es utilizada para determinar el tipo de maquinaria de trituración a emplear para su producción. Puesto que entre más dura sea la roca, resulta más abrasiva para la maquinaria.

#### 3.4.6 Peso volumétrico

Resultados:

Arenas Trituradas:

- Plantel Angue:

Peso Volumétrico Varillado = 1,570.48 Kg/m<sup>3</sup>

Peso Volumétrico Suelto = 1,481.01 Kg/m<sup>3</sup>

- Plantel Jiboa:

Peso Volumétrico Varillado = 1,689.38 Kg/m<sup>3</sup>

Peso Volumétrico Suelto = 1,568.12 Kg/m<sup>3</sup>

## Arena Natural

- Banco Cangrejera

Peso Volumétrico Varillado = 1,486.45 Kg/m<sup>3</sup>

Peso Volumétrico Suelto = 1,396.48 Kg/m<sup>3</sup>

La norma ASTM C-29M-97 no establece límites permisibles para valores de peso volumétrico, pero existen rangos de esta propiedad que varían entre 1,200 a 1,760 Kg/m<sup>3</sup> para concretos de peso normal<sup>37</sup>, observándose que las tres arenas en estudio se encuentran dentro de este rango.

La variación de los pesos volumétricos obtenidos se debe al tipo de roca de origen. Para el caso del banco cangrejera que proviene de un aluvión, las características de sus granos no es uniforme, debido a que se originan de diferentes tipos de rocas que son arrastrados a través del cauce del río, destacándose la presencia de pómez, siendo éste un material de bajo peso volumétrico.

En cuanto a la arenas trituradas las características de sus granos es uniforme, debido a que provienen de un mismo banco: La arena triturada del Plantel Jiboa posee un peso volumétrico mayor que la arena del Plantel Angue, ya que su

<sup>37</sup> Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. México 1992

roca de origen es basalto, que de manera general presenta un peso volumétrico mayor que las rocas calizas.

## CAPITULO 4

### DISEÑO Y ELABORACION DE MEZCLAS

#### 4.1 Descripción del método a emplear para el diseño de mezclas (ACI 211.1)

El informe ACI 211.1 describe los métodos para la dosificación de concretos de cemento hidráulico hechos con o sin otros materiales cementantes y aditivos químicos. Siendo este concreto compuesto por agregados de densidad normal o densidad elevada con una trabajabilidad adecuada para ser colado en obra mediante descarga directa y sin el empleo de equipo especial, como por ejemplo bomba.

El método proporciona una primera aproximación de las dosificaciones que se deben verificar mediante mezclas de prueba y hacer los ajustes necesarios para obtener las características deseadas en el concreto. La dosificación del concreto implica el equilibrio entre una economía razonable y los requisitos específicos de colado, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia.

La capacidad para ajustar las propiedades del concreto a las necesidades de la obra refleja un desarrollo tecnológico que no tuvo lugar sino a partir de los

primeros años de este siglo. El empleo de la relación agua-cemento (a/c) como herramienta para estimar la resistencia fue reconocido alrededor del año 1918.

Las notables mejoras en la durabilidad, resultantes de la inclusión de aire, fueron reconocidos a principios de los años cuarenta. Estos importantes adelantos en la tecnología del concreto, se han visto incrementados por extensas investigaciones y el desarrollo de muchas áreas afines, incluido el empleo de aditivos para contrarrestar posibles deficiencias, desarrollar propiedades especiales o economizar.

#### 4.2 Proporcionamiento de mezclas de concreto según ACI 211.1

A continuación se detalla paso a paso la secuencia seguida para la estimación de los pesos de los materiales que componen la mezcla de concreto, teniendo como primer paso la elección del revenimiento, el cual se puede seleccionar de la siguiente tabla, cuando en las especificaciones del proyecto no está definido.

**TABLA 4.1.**

#### **REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN**

Tipos de construcción	Revenimiento (cm.)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas , cajones de cimentación y muros de subestructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Fuente: ACI 211.1. Tabla 6.3.1.

Como segundo paso se tiene la elección del tamaño máximo nominal del agregado grueso, para poder obtener la cantidad de agua de mezclado por volumen unitario de concreto (paso 3), conforme la Tabla 4.2.

La selección de la relación a/c se tiene como cuarto paso, y la cual se toma de la Tabla 4.3.

**TABLA 4.2**

**REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADO**

Revenimiento (cm.)	Agua, kg/m <sup>3</sup> para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2,5 a 5,0	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15,0 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2,5 a 5,0	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15,0 a 17,5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, %, según el nivel de exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: ACI 211.1. Tabla 6.3.3.

**TABLA 4.3****CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO O AGUA/MATERIALES CEMENTANTES Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

Resistencia a la compresión a 28 días ( kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: ACI 211.1 Tabla 6.3.4 (a)

El quinto paso consiste en dividir la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c para obtener la cantidad de cemento por volumen unitario de concreto.

A continuación se procede a la estimación del agregado grueso de la Tabla 4.4 (sexto paso), el cual depende del tamaño máximo del agregado grueso a emplear y del módulo de finura del agregado fino.

En el séptimo paso se estima el contenido de agregado fino, el cual se determina por diferencia, empleando cualquiera de los procedimientos siguientes: método por peso o el método por volumen absoluto, que es el que se empleará por ser un procedimiento más exacto. En este caso, el volumen

total desplazado por los componentes conocidos: agua, aire, cemento y agregado grueso, se restan del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino.

**TABLA 4.4**

**VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO**

Tamaño máximo nominal del agregado (mm.)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura (MF) del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0	0.82	0.80	0.78	0.76
150.0	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1 Tabla 6.3.6

En seguida lo que procede es realizar los ajustes por humedad de los agregados para finalmente obtener los pesos de los materiales.

Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante mezclas de prueba o por medio de mezclas reales en campo. Sólo debe usarse el agua

suficiente para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba.

De este modo deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando con el paso 4; si es necesario, se modificará el volumen de agregado grueso de la Tabla 4.4, para obtener la trabajabilidad adecuada.

#### **4.2.1 Secuencia empleada en laboratorio**

Inicialmente se determinaron las humedades de los agregados para ajustar los pesos de los materiales obtenidos del diseño de mezcla hasta el paso 7 (estimación del contenido de agregado fino).

Una vez obtenidos los pesos de los componentes, se mezclaron en una concretera accionada por motor de gasolina, de una bolsa de cemento de capacidad, hasta obtener una mezcla uniforme. Posteriormente se obtuvieron muestras de concreto para efectuar los ensayos de revenimiento según ASTM C-143, peso unitario según ASTM C-138 y elaboración de especímenes cilíndricos de 15x30 cm. según ASTM C-192.

En estado endurecido los especímenes de concreto fueron curados conforme a la ASTM C-192 y sometidos a esfuerzos para determinar la resistencia a compresión según ASTM C-39.

#### 4.2.2 Realización de mezclas de prueba

En función a los objetivos y alcances de este Trabajo de Graduación se efectuó un diseño de mezcla empleando arena natural del Banco Cangrejera con una resistencia a la compresión  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días y una resistencia promedio requerida según el ACI 318  $f'cr = f'c + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$ , debido a que no se disponía de datos para establecer una desviación estándar.

Empleando  $f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$  como base para la selección de las proporciones, se siguieron las recomendaciones establecidas en el informe ACI 211.1 elaborando un total de 44 cilindros (15 a los 3 días; 14 a los 7 y 15 a los 28) y obteniendo los resultados de resistencia a compresión que se muestran en la Tabla 4.5

En la Tabla 4.6 se muestran las resistencias máxima, mínima y promedio de la mezcla de prueba.

**TABLA 4.5**

**MEZCLA DE PRUEBA CUADRO RESUMEN DE RESISTENCIAS DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA CANGREJERA**

No. Y Fecha de colado	# Cilindro	Edad Prueba (días)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1 16/02/2005	1	3	180.5	182.7
	2	3	184.8	
	3	7	242.2	
	4	7	265.5	253.9
	5	28	373.5	
	6	28	381.7	
	7	28	354.2	
2 16/02/2005	8	3	173.6	172.9
	9	3	172.1	
	10	7	229.6	
	11	7	211.8	220.7
	12	28	308.7	
	13	28	340.1	
3 18/02/2005	14	3	148.0	176.4
	15	3	204.7	
	16	3	209.4	
	17	3	189.5	199.5
	18	7	263.6	
	19	7	242.7	
	20	7	242.0	
	21	28	415.9	
	22	28	405.0	
	23	28	387.5	
24	28	398.6		
4 18/02/2005	25	3	180.9	183.0
	26	3	176.0	
	27	3	192.0	
	28	7	240.4	236.7
	29	7	239.7	
	30	7	229.9	
	31	28	371.9	360.5
	32	28	340.1	
	33	28	369.5	
5 21/02/2005	34	3	153.3	156.0
	35	3	158.6	
	36	3	158.1	
	37	3	164.5	161.3
	38	7	227.3	
	39	7	209.4	
	40	7	214.9	218.4
	41	7	223.8	
	42	28	321.9	
	43	28	322.3	219.4
	44	28	319.9	

**TABLA 4.6****RESISTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO A DIFERENTES EDADES DE PRUEBA**

Resistencia ( kg/cm <sup>2</sup> )	Edad de Ensayo (días)		
	3	7	28
Máxima	199.5	253.9	410.5
Mínima	156.0	218.4	321.4
Promedio	175.9	233.1	363.3

De los resultados se observa que con este diseño se obtiene una resistencia promedio de 363.3 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, superando en 69.3 kg/cm<sup>2</sup> a la resistencia promedio requerida  $f'_{cr} = 294$  kg/cm<sup>2</sup>; y a los 7 días se está sobrepasando a la resistencia especificada  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>. Es por ello que se decidió igualar la resistencia promedio requerida a la resistencia especificada ( $f'_{cr} = f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>) y seguir las recomendaciones dadas en el ACI 211.1.

**4.2.3 Ejemplo de diseño de mezcla**

Se realizaron diseños de mezcla de concreto empleando arenas del Plantel Angue, Plantel Jiboa y Banco Cangrejera.

A continuación se ilustra numéricamente el procedimiento descrito en el ACI 211.1 con un ejemplo de diseño de mezcla empleando arena triturada correspondiente al Plantel Angue realizado el 03 de abril de 2005.

Se consideró una resistencia a la compresión promedio de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, un revenimiento de  $4 \pm 1$  pulgada y un tamaño máximo nominal de agregado grueso de  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Las condiciones de exposición son normales por lo que no incluye el empleo de aditivos inclusores de aire.

También es necesario definir algunos datos generales de los materiales:

- El cemento empleado es Portland tipo I conforme a ASTM C-150.
- El agregado grueso tiene las siguientes características físicas:

Peso Varillado Seco: 1479.52 Kg. / m<sup>3</sup>

Gravedad Específica (SH): 2.56

Absorción: 0.9 %

- Agregado fino:

Peso Varillado Seco: 1570.48 Kg. / m<sup>3</sup>

Gravedad Específica (SH): 2.54

Absorción: 2.86 %

Módulo de Finura: 2.87

De la Tabla 4.2 se obtienen la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire, obteniendo 205 kg/m<sup>3</sup> y 2 % respectivamente.

De la Tabla 4.3 se obtiene la relación a/c a emplear, resultando un valor de 0.68 para un concreto sin aire incluido y con una resistencia promedio de 210 kg/cm<sup>2</sup>

a los 28 días. Con la relación a/c y la cantidad de agua de mezclado ya definidas, se obtiene la cantidad de cemento:

$$c = \frac{205}{0.68} = 301.47 \text{ Kg/m}^3$$

La cantidad estimada de agregado grueso según la Tabla 4.3 resulta ser de 0.613, interpolando para un tamaño máximo nominal de agregado grueso de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y un módulo de finura de 2.87 del agregado fino. Puesto que su peso varillado seco resulta ser de 1479.52 kg/m<sup>3</sup>, el peso del agregado grueso es = 1479.52 × 0.613 = 906.96 Kg/m<sup>3</sup>

La cantidad de arena es obtenida mediante el método de volúmenes absolutos de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de agua: } \frac{205}{1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire atrapado: } 0.02 \times 1 = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen sólido de cemento: } \frac{301.47}{3.15 \times 1000} = 0.096 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado grueso: } \frac{906.95}{2.56 \times 1000} = 0.354 \text{ m}^3$$

Volumen sólido total exceptuando la arena:

$$= 0.205 + 0.020 + 0.096 + 0.354 = 0.6075 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de arena: } 1.000 - 0.675 = 0.325 \text{ m}^3$$

$$\text{Ahora el peso de arena seca resulta: } 0.325 \times 2.54 \times 1000 = 825.5 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces se realizan las correcciones por humedad; las pruebas indican un 0.33% de humedad para el agregado grueso y 3.11 % para el agregado fino.

El agua de absorción no constituye parte de la de mezclado y debe quedar excluida del ajuste de agua añadida. De esta manera el agua superficial proporcionada por el agregado grueso es  $0.33 - 0.90 = -0.57\%$  y para el agregado fino  $3.11 - 2.86 = +0.25\%$ . El signo positivo significa que los agregados están aportando agua y por lo tanto hay que restarla al agua de mezclado; de lo contrario el signo negativo, implica que los agregados necesitan agua para lograr la condición SSS<sup>38</sup>, por lo tanto hay que sumarla al agua de mezclado.

El agua de mezclado resulta entonces:

$$= 205 + \left( + \frac{0.57}{100} \times 906.95 \right) + \left( - \frac{0.25}{100} \times 825.50 \right) = 208.11 \text{ Kg/m}^3$$

Los pesos ajustados del agregado son:

$$\text{Agregado grueso: } 906.95 \times 1.0033 = 909.94 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino: } 825.5 \times 1.0311 = 851.17 \text{ Kg/m}^3$$

<sup>38</sup> Estado del agregado en condición: saturado superficialmente seca

Se realizaron mezclas de concreto empleando 30Kg de cemento, produciendo

$$\text{un volumen de concreto} = \frac{30\text{Kg}}{301.47 \text{ Kg/m}^3} = 0.09951\text{m}^3.$$

Para la mezcla se reducen proporcionalmente los pesos de los materiales para producir 0.09951 m<sup>3</sup> de concreto:

$$\text{Agua} = 208.11 \times 0.09951 = 20.71\text{Kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 909.94 \times 0.09951 = 90.55\text{Kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 851.17 \times 0.09951 = 84.70\text{Kg}$$

En la práctica la cantidad de agua de mezclado empleada fue de 18.98 kg, logrando un revenimiento de 5 pulgadas y un peso unitario de 2355.32 kg / m<sup>3</sup>.

Se moldearon 12 cilindros para ser ensayados: 2 a los 3 y 7 días y 8 a los 28.

#### 4.3 Evaluación estadística de la resistencia a la compresión

En el caso de la producción de concreto, las variaciones de calidad pueden ser atribuidas normalmente a causas aleatorias, a menos que en algún caso particular existan causas específicas. En cuanto al procedimiento de medición de la calidad, existen métodos definidos y estandarizados, que al ser aplicados permiten lograr suficiente confiabilidad en los resultados.

Con base en ello, es usual considerar que en las mediciones para el control de la calidad del concreto, los resultados obtenidos tienden a la distribución normal de frecuencias, por lo que se les aplican los conceptos y expresiones que caracterizan esta forma de distribución.

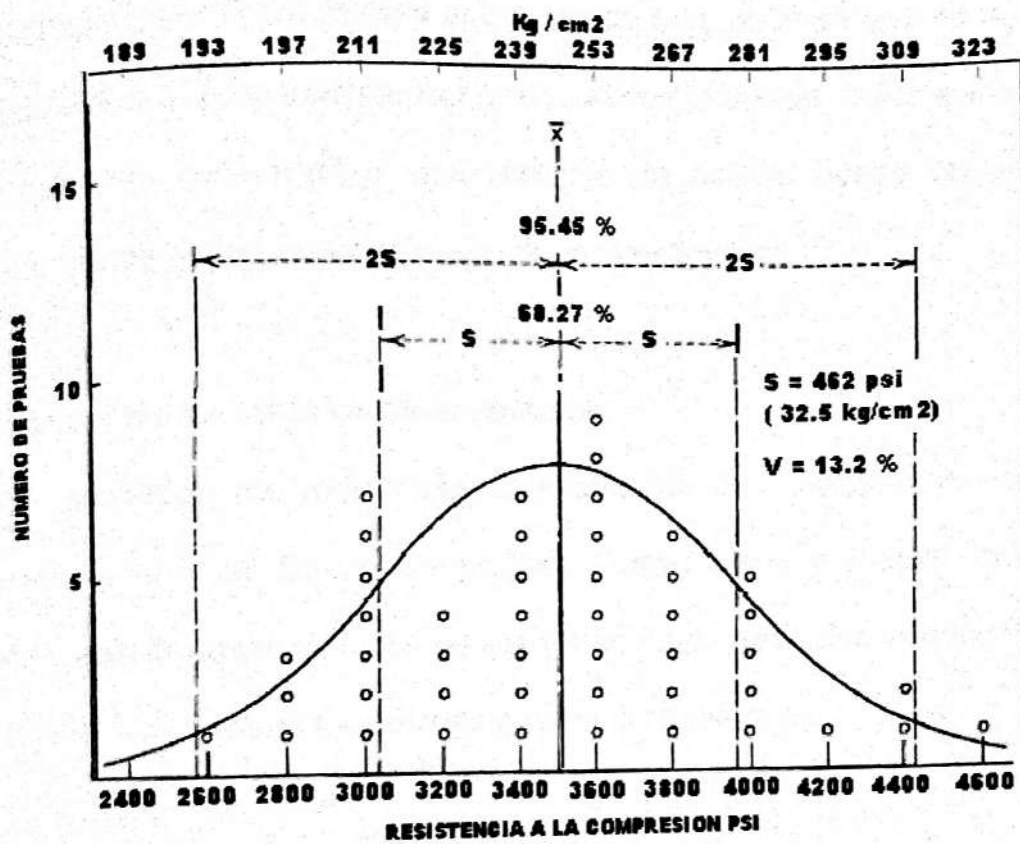


Figura 4.1 Curva normal de distribución de frecuencias.

De esta manera, cuando en un caso determinado la distribución de frecuencias de resultados se aparta de la tendencia normal, esto se considera como efecto de causas distorsionantes que deben corregirse.

La ley de variación definida por la curva de distribución normal de frecuencias permite evaluar estadísticamente las probabilidades de incumplimiento de una determinada especificación o nivel de calidad, y la calidad mínima probable o límite inferior de variación. Esto es factible debido a que para una determinada abscisa (valor de calidad) el área que se ubica bajo la curva que se ubica a la izquierda define la proporción probable de valores inferiores a dicha abscisa, de modo que para cada nivel o especificación de calidad puede conocerse la correspondiente probabilidad de casos de incumplimiento.

#### **4.3.1 Aplicación de criterios de aceptación**

De los resultados de resistencia obtenidos de las mezclas de concreto empleando arena del Banco Cangrejera, Plantel Jiboa y Plantel Angue, se pretende realizar una evaluación de ellos a fin de compararlos con los límites o valores que recomiendan los códigos o normas respectivas.

La tabla 4.7 que se muestra a continuación presenta los resultados de resistencia promedio, máxima y mínima obtenida de los ensayos a compresión realizados, y su correspondiente desviación estándar y coeficiente de variación para cada mezcla.

La variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a compresión se presenta en la Tabla 4.8.

**TABLA 4.7****MEDIDAS DE DISPERSIÓN DE LAS RESISTENCIAS**

Resistencia a 28 días ( kg/cm <sup>2</sup> )	Banco Cangrejera	Plantel Jiboa	Plantel Angue
Máxima	343.85	391.60	400.80
Mínima	288.30	307.55	337.90
Promedio	311.06	350.35	368.67
Desviación Estándar	13.33	24.59	17.71
Coefficiente de Variación %	4.28	7.02	4.80

**TABLA 4.8****NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO.**

VARIACION TOTAL					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes normas de control, psi ( kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	< 40 (25)	400 a 500 (28.1) (35.2)	500 a 600 (35.2) (42.2)	600 a 700 (42.2) (49.2)	> 700 49.2
Mezclas de prueba de laboratorio	< 200 14.1	200 a 250 (14.1) (17.6)	250 a 300 (17.6) (21.1)	300 a 350 (21.1) (24.6)	> 350 (24.6)
VARIACION EN LAS PRUEBAS					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes normas de control, psi ( kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	< 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Mezclas de prueba de laboratorio	< 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> 5.0

Fuente: ACI 214 Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de las Pruebas de Resistencia del Concreto, sección 3 Tabla 3.5.

La desviación estándar de las resistencias a compresión para el caso de las mezclas con arena del Banco Cangrejera puede ser considerada como excelente, para el Plantel Jiboa como aceptable y Plantel Angue como buena según el ACI 214.

Los coeficientes de variación resultan: para Banco Cangrejera y Plantel Angue aceptables; para Plantel Jiboa resultan pobres. Sin embargo, debido a que la magnitud del coeficiente de variación es afectada por el promedio, no se le considera de uso tan general como la desviación estándar para identificar y calificar el grado de dispersión de un conjunto de valores

Con el objeto de satisfacer los requerimientos de resistencia, el concreto debe estar proporcionado de manera que produzca una resistencia promedio superior a la especificada. El margen o exceso de resistencia depende de la variabilidad del concreto, expresándose matemáticamente así:

$$f'_{cr} = f'_c + (t \times s)$$

Donde:

$f'_{cr}$ : Resistencia promedio requerida a la compresión

$f'_c$ : Resistencia especificada a la compresión

$s$ : Desviación estándar

$k$ : Constante relacionada con el porcentaje permisible de pruebas con resultados inferiores a  $f'_{cr}$

Ahora que se tiene la información necesaria, la resistencia promedio requerida  $f'_\sigma$  puede ser calculada con las siguientes expresiones dadas en la sección 5.3.2.1 del ACI 318:

$$f'_\sigma = f'_c + (1.34 \times s) \quad (I)$$

$$f'_\sigma = f'_c + (2.33 \times s) - 35 \quad (II)$$

A continuación se proporcionan los resultados:

**TABLA 4.9**  
**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE ECUACIÓN I Y II**

Resistencia promedio requerida ( kg/cm <sup>2</sup> )	Cangrejera	Plantel Jilboa	Plantel Angue
Ecuación I	227.86	242.95	23373
Ecuación II	206.6	232.29	216.27

El ACI 318 establece tomar el mayor de los resultados calculados. Observándose que la resistencia promedio real obtenida en laboratorio, es mucho mayor que la resistencia requerida sugerida por el ACI 318. Por lo que para futuras mezclas (en iguales condiciones) podría reducirse aún más la

resistencia para obtener una mezcla económica, ya que los resultados de desviación estándar obtenidos se encuentran entre aceptables y excelentes.

Con la resistencia promedio real, la resistencia especificada a la compresión y la desviación estándar obtenida, pueden obtenerse los resultados por debajo de  $f'c(t)$ . Los resultados se encuentran resumidos en la Tabla 4.10:

**TABLA 4.10**  
**RESULTADOS POR DEBAJO DE  $f'c$**

Resultados por debajo de $f'c$	Banco Cangrejera	Plantel Jilboa	Plantel Angue
Valores de t	7.58	5.71	8.96

En la Tabla 4.11 se observa la relación entre t y el porcentaje esperado de resistencias inferiores a  $f'c$ . Como puede observarse existe una relación inversa entre ambas, y que para un valor de  $t = 3.00$  corresponde un valor de 0.13 %.

El Reglamento ACI 318 permite solamente el 9.0 % de resultados por debajo de  $f'c$  y 1.0 % de resultados inferiores a  $f'c$  en más de 35 kg/cm<sup>2</sup>. Las Especificaciones estándar para el concreto premezclado ASTM C -94 tolera el 10 % de resultados por debajo de  $f'c$ .

**TABLA 4.11**

**PORCENTAJES ESPERADOS DE RESISTENCIAS INFERIORES A  $f'_c$   
CUANDO  $f'_{cr}$  EXCEDE A  $f'_c$  EN LA CANTIDAD MOSTRADA**

Resistencia Promedio $f'_{cr} = f'_c + ts$	Porcentaje Esperado de Resistencias Inferiores a $f'_c$	Resistencia Promedio $f'_{cr} = f'_c + ts$	Porcentaje Esperado de Resistencias Inferiores a $f'_c$
$f'_c + 0,10s$	46.0	$f'_c + 1,60s$	5.5
$f'_c + 0,20s$	42.1	$f'_c + 1,70s$	4.5
$f'_c + 0,30s$	38.2	$f'_c + 1,80s$	3.6
$f'_c + 0,40s$	34.5	$f'_c + 1,90s$	2.9
$f'_c + 0,50s$	30.9	$f'_c + 2,00s$	2.3
$f'_c + 0,60s$	27.4	$f'_c + 2,10s$	1.8
$f'_c + 0,70s$	24.2	$f'_c + 2,20s$	1.4
$f'_c + 0,80s$	21.2	$f'_c + 2,30s$	1.1
$f'_c + 0,90s$	18.4	$f'_c + 2,40s$	0.8
$f'_c + 1,00s$	15.9	$f'_c + 2,50s$	0.6
$f'_c + 1,10s$	13.6	$f'_c + 2,60s$	0.45
$f'_c + 1,20s$	11.5	$f'_c + 2,70s$	0.35
$f'_c + 1,30s$	9.7	$f'_c + 2,80s$	0.25
$f'_c + 1,40s$	8.1	$f'_c + 2,90s$	0.19
$f'_c + 1,50s$	6.7	$f'_c + 3,00s$	0.13

Fuente: ACI 214, Tabla 3.4.2

Si escogemos a manera de ejemplo el valor de  $t = 5.71$  que corresponde al Plantel Jiboa, podríamos esperar un % de resistencias inferior a  $f'_c$  cercano a cero. Efectivamente el resultado más bajo obtenido es de 307.55 kg /cm<sup>2</sup>, confirmando que no se tiene ningún resultado por debajo de  $f'_c = 210$  kg/ cm<sup>2</sup>.

Además, se observa que ningún resultado es inferior que  $f'c$  por más de 35 kg/cm<sup>2</sup>. ( $f'c - 35 = 210 - 35 = 175$  kg/cm<sup>2</sup>). El valor más bajo obtenido es 288.30 kg/cm<sup>2</sup> que corresponde al Banco Cangrejera, el cual sobrepasa a  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> en 78.3 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.4 Presentación de resultados y análisis**

Se realizaron tres diseños de mezcla empleando arenas procedentes de los siguientes bancos:

- Arena triturada lavada: Plantel Angue en el municipio de Metapán (Santa Ana) y Plantel Jiboa en el departamento de La Paz.
- Arena natural: Banco Cangrejera (zona baja del río Titihuapa), departamento de La Libertad.

Los ensayos se realizaron en un periodo comprendido entre febrero a junio de 2005.

Los datos empleados en el diseño de mezclas, corresponden a los resultados obtenidos en el Capítulo III (Características de los agregados), a excepción de los módulos de finura de cada una de las arenas, realizándose nuevamente los ensayos granulométricos, debido a que esta propiedad puede variar de acuerdo a la época del año (en el caso de la arena natural) y al proceso de producción (de la arena triturada).

A continuación se muestran los resultados obtenidos junto con sus comentarios respectivos, los cuales se han dividido en los siguientes apartados:

1. Características Físicas de los Agregados Finos Empleados en las Mezclas de Concreto.
2. Proporcionamiento de las Mezclas de Concreto
3. Ensayos de Cilindros de Concreto Empleando Arena Plantel Angue
  - Tabla 4.18 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Hidráulico.
  - Tabla 4.19 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.4 Resistencia de Concreto Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.5 Peso Volumétrico Vrs. Resistencia a la Compresión Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.6 Revenimiento Vrs. Resistencia a la Compresión Arena Plantel Angue.
  - Tabla 4.20 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Angue Edad 3 Días.
  - Gráfico 4.7 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Plantel Angue Edad 3 Días.
  - Tabla 4.21 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Angue Edad 7 Días.

- Gráfico 4.8 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Plantel Angue Edad 7 Días.
  - Tabla 4.22 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Angue Edad 28 Días.
  - Grafico 4.9 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Plantel Angue Edad 28 Días.
4. Ensayos de Cilindros de Concreto Empleando Arena Plantel Jiboa
- Tabla 4.23 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Hidráulico.
  - Tabla 4.24 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.10 Resistencia de Concreto Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.11 Peso Volumétrico Vrs. Resistencia a la Compresión Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.12 Revenimiento Vrs. Resistencia a la Compresión Arena Plantel Jiboa.
  - Tabla 4.25 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Jiboa Edad 3 Días.
  - Gráfico 4.13 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Plantel Jiboa Edad 3 Días.

- Tabla 4.26 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Jiboa Edad 7 Días.
  - Gráfico 4.14 de Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Plantel Jiboa Edad 7 Días.
  - Tabla 4.27 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Plantel Jiboa Edad 28 Días.
  - Gráfico 4.15 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Plantel Jiboa Edad 28 Días.
5. Ensayos de Cilindros de Concreto Empleando Arena Banco Cangrejera.
- Tabla 4.28 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto Hidráulico.
  - Tabla 4.29 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Banco Cangrejera.
  - Gráfico 4.16 Resistencia de Concreto Arena Banco Cangrejera.
  - Gráfico 4.17 Peso Volumétrico Vrs. Resistencia a la Compresión Arena Banco Cangrejera.
  - Gráfico 4.18 Revenimiento Vrs. Resistencia a la Compresión Arena Banco Cangrejera.
  - Tabla 4.30 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Banco Cangrejera Edad 3 Días.
  - Gráfico 4.19 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Banco Cangrejera Edad 3 Días.

- Tabla 4.31 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Banco Cangrejera Edad 7 Días.
  - Gráfico 4.20 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Banco Cangrejera Edad 7 Días.
  - Tabla 4.32 Resumen de Resistencias Promedio de Cilindros de Concreto Utilizando Arena Banco Cangrejera Edad 28 Días.
  - Gráfico 4.21 Variación de Resistencia a la Compresión con la Fecha de Ensayo Arena Banco Cangrejera Edad 28 Días.
6. Gráficos Comparativos entre las Tres Arenas en Estudio.
- Tabla 4.33 Resistencia a la Compresión Para Concretos Elaborados con Arena Plantel Angue, Plantel Jiboa y Banco Cangrejera.
  - Tabla 4.34 Porcentajes de Desarrollo de Resistencia con la Edad Para Cada Mezcla en Base a la Resistencia Promedio a los 28 días.
  - Gráfico 4.22 Comparativo de Resistencia del Concreto a Diferentes Edades Empleando Arenas Trituradas Vrs Arena Natural.
  - Gráfico 4.23 Comparativo de Resistencia del Concreto a Diferentes Edades con Respecto a la Resistencia de Diseño.
  - Gráfico 4.24 Desarrollo de Resistencia a la Compresión en Función del Tiempo.
  - Gráfico 4.25 Comparación de Resistencia Arenas Trituradas Vrs Arena Natural.

- Tabla 4.35 Valores Máximos y Mínimos de Resistencia a la Compresión y Peso Volumétrico.
  - Gráfico 4.26 Valores de Resistencia Máximos y Mínimos Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.27 Valores de Resistencia Máximos y Mínimos Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.28 Valores de Resistencia Máximos y Mínimos Arena Banco Cangrejera.
  - Gráfico 4.29 Valores de Resistencia Máximos y Mínimos Plantel Angue, Jiboa Y Banco Cangrejera
  - Gráfico 4.30 Valores Máximos y Mínimos de Pesos Volumétricos para cada una de las Arenas.
7. Gráficos de Variación de Revenimiento Vrs Fecha de Colado.
- Gráfico 4.31 Variación de Revenimiento Vrs Fecha de Colado Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.32 Variación de Revenimiento Vrs Fecha de Colado Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.33 Variación de Revenimiento Vrs Fecha de Colado Arena Banco Cangrejera.
  - Gráfico 4.34 Variación de Revenimiento Vrs Fecha de Colado Arena Plantel Angue, Plantel Jiboa y Banco Cangrejera.

8. Gráficos de Variación de Peso Volumétrico Vrs. Fecha de Colado.
  - Gráfico 4.35 Variación de Peso Volumétrico Vrs Fecha de Colado Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.36 Variación de Peso Volumétrico Vrs Fecha de Colado Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.37 Variación de Peso Volumétrico Vrs Fecha de Colado Arena Banco Cangrejera.
  - Gráfico 4.38 Variación de Peso Volumétrico Vrs Número de Colado Arena Plantel Angue, Plantel Jiboa y Banco Cangrejera.
  
9. Tablas y Gráficos de la Cantidad de Cilindros en función a la Fecha de Elaboración.
  - Tabla 4.36 Resumen de Cantidad de Cilindros Elaborados por Arena.
  - Gráfico 4.39 Cantidad de Cilindros por Fecha de Colado Arena Plantel Angue.
  - Gráfico 4.40 Cantidad de Cilindros por Fecha de Colado Arena Plantel Jiboa.
  - Gráfico 4.41 Cantidad de Cilindros por Fecha de Colado Arena Banco Cangrejera.

#### 4.4.1. Características físicas de los agregados finos empleados en las mezclas de concreto.

Se presentan cuadros resumen de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos, procedentes del Plantel Angue (arena triturada), Plantel Jiboa (arena triturada) y Banco Cangrejera (arena natural de río).

Estas propiedades intervienen en el proporcionamiento de mezclas y en el comportamiento en estado fresco o endurecido del concreto, y a continuación se presentan:

- Gravedad específica
- Peso volumétrico
- Porcentaje de vacíos
- Porcentaje de absorción
- Contenido de materia orgánica
- Porcentaje de finos que pasan la malla # 200
- Modulo de finura
- Porcentaje de desgaste<sup>39</sup>
- Granulometría

<sup>39</sup> Ensayo realizado a muestras de grava procedentes de los bancos Plantel Angue y Plantel Jiboa, con el objetivo de determinar la resistencia a la abrasión de la roca madre de donde proceden los agregados finos triturados que se emplearon en la elaboración de concreto.

Estas propiedades son el resultado de ensayos correspondientes al capítulo III, a excepción del módulo de finura, el cual se determinó de las muestras empleadas para la elaboración de las mezclas de concreto. Ya que las arenas han estado sujetas a variaciones en la producción de cada plantel de arenas trituradas y para el caso de la arena natural ésta característica varía en función de la estación del año.



TRABAJO DE GRADUACION:

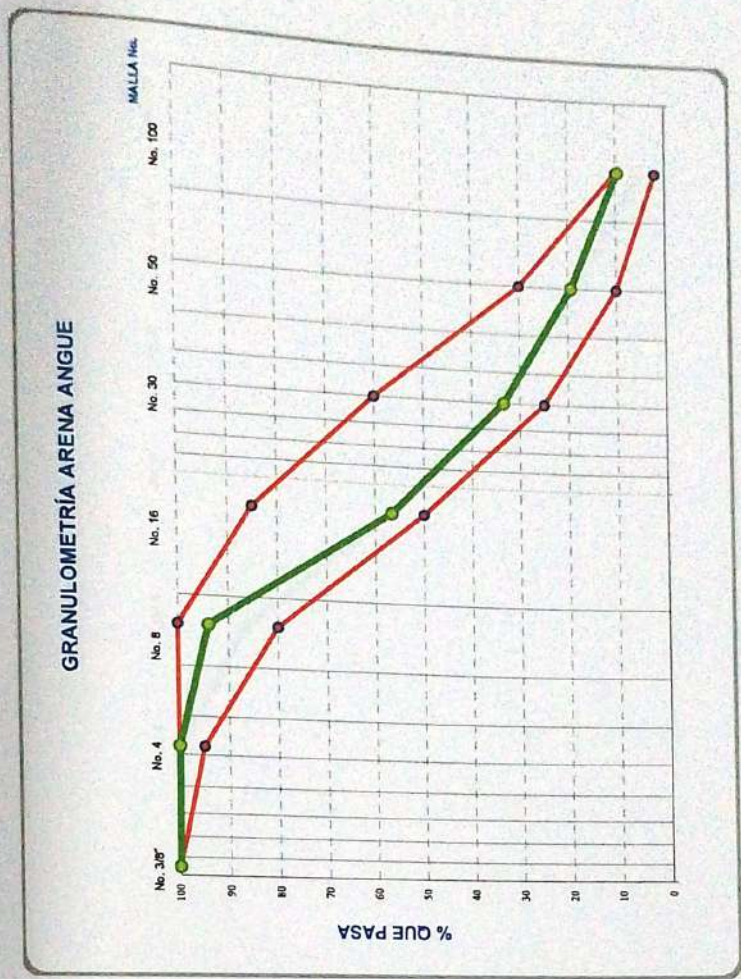
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 4.12

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO

BANCO: PLANTEL ANGUE  
 MUESTRA: 31-mar-05

CARACTERISTICAS FISICAS	
GRAVEDAD ESPECIFICA:	2.54
PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	1570.48
% DE VACIOS:	38.05
ABSORCION: (%)	2.86
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA:	NO TIENE
% QUE PASA EL TAMIZ No. 200	3.69
MODULO DE FINURA:	2.87
% DE DESGASTE:	26.04



TAMIZ No:	No. 3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
% QUE PASA:	100.0	99.8	93.9	56.6	33.4	19.4	9.6

OBSERVACIONES:

---



---



---



TRABAJO DE GRADUACION:

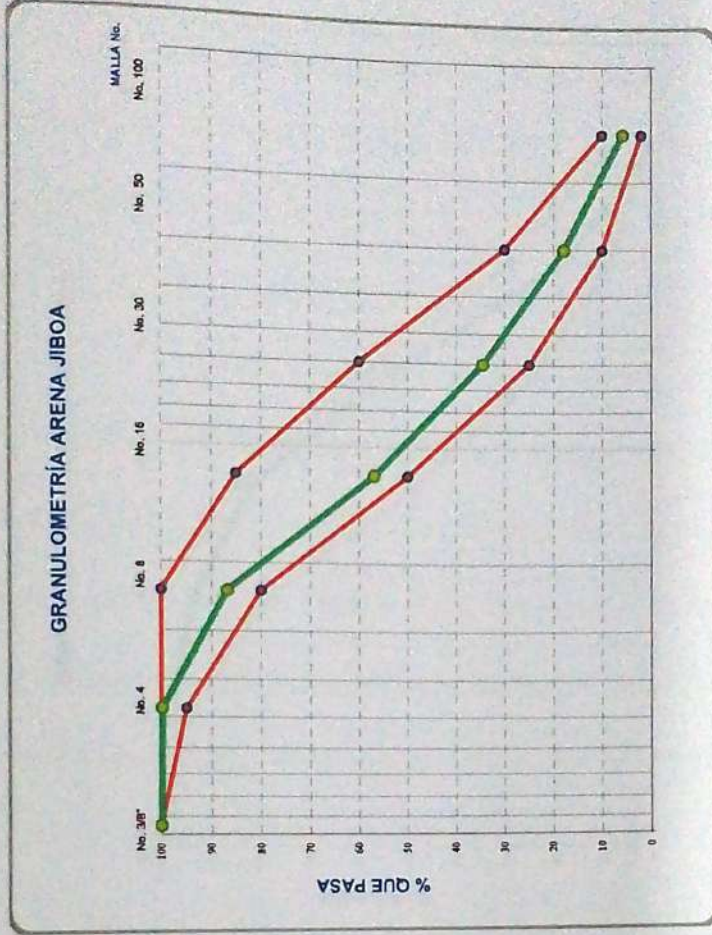
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 4.13

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO

BANCO: PLANTEL JIBOA  
 MUESTRA: 22-abr-05

CARACTERISTICAS FISICAS	
GRAVEDAD ESPECIFICA:	2.48
PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	1689.38
% DE VACIOS:	31.74
ABSORCION: (%)	3.9
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA:	NO TIENE
% QUE PASA EL TAMIZ No. 200	5.89
MODULO DE FINURA:	2.98
% DE DESGASTE:	16.04



TAMIZ No:	No. 3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
% QUE PASA:	100.0	99.8	86.8	56.9	34.5	17.8	5.8

OBSERVACIONES:

---



---



---

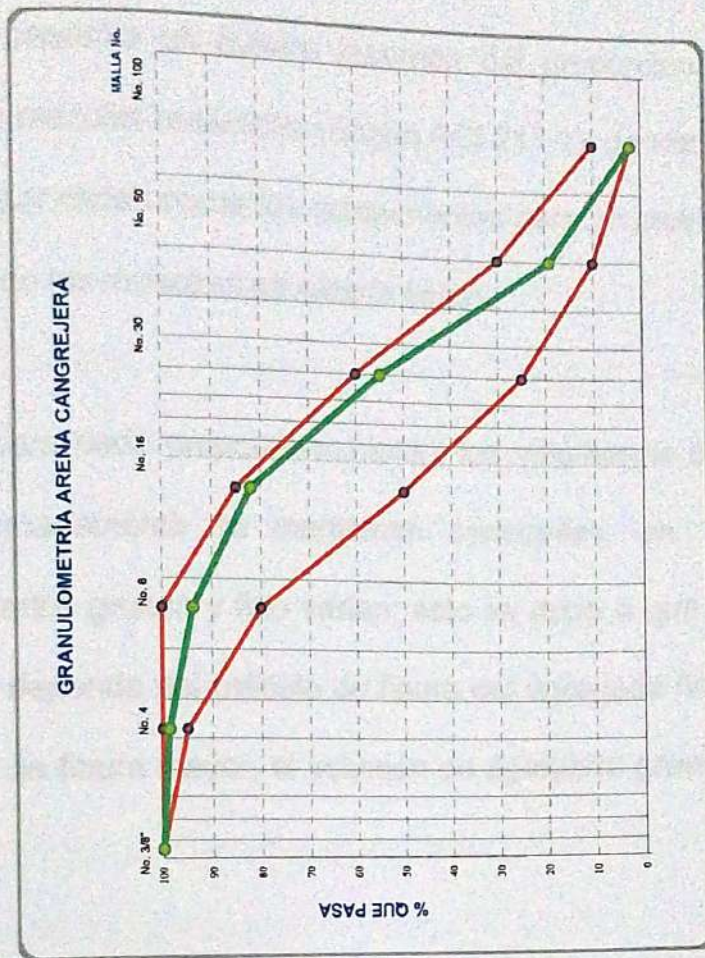


TABLA 4.14

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO

BANCO: RIO CANGREJERA  
 MUESTRA: 8-feb-05

CARACTERISTICAS FISICAS	
GRAVEDAD ESPECIFICA:	2.37
PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	1486.45
% DE VACIOS:	37.15
ABSORCION: (%)	5.36
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA:	2
% QUE PASA EL TAMIZ No. 200	1.18
MODULO DE FINURA:	2.49
% DE DESGASTE:	-



TAMIZ No:	No. 3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
% QUE PASA:	100.0	96.7	93.9	82.0	54.9	19.1	2.2

OBSERVACIONES:

---



---



---

#### 4.4.2. Proporciónamiento de las mezclas de concreto

En primer lugar se presenta un cuadro resumen del proporciónamiento en volumen para las tres mezclas realizadas (Según ACI 211.1), donde se muestra el volumen ocupado por cada uno de los componentes para un metro cúbico de concreto (considerando las muestras en estado seco).

Observándose que para cada proporciónamiento, los volúmenes de cemento, agua y aire aproximadamente se mantienen constantes, en cambio los volúmenes de agregados grueso y fino varían; esto se debe a que el volumen de agregado grueso depende del módulo de finura del agregado fino, teniendo que para un módulo de finura mayor, el volumen de agregado grueso debe ser menor y viceversa.

Puesto que las muestras empleadas de arenas trituradas cuentan con un módulo de finura que varía de 2.87 a 2.98 clasificándolas como arenas gruesas, el volumen de grava a emplear debe ser menor, para evitar segregación y mejorar trabajabilidad.

En el gráfico Proporciónamiento en Volumen para un m<sup>3</sup> de Concreto, se puede observar fácilmente la variación de las proporciones de cada uno de los elementos que componen el concreto y para cada una de las mezclas.

Destacándose que los porcentajes en volumen ocupados por los agregados para un metro cúbico de concreto son:

- 65.5% mezcla con arena natural Banco Cangrejera, teniendo un mayor volumen de grava con respecto a las mezclas con arena triturada.
- 67.92% y 67.9% para las arenas trituradas Planteles Jiboa y Angue, respectivamente. Se observa que el proporcionamiento en volumen para las arenas trituradas no difiere considerablemente entre ellas.

En el siguiente cuadro denominado "Cuadro Resumen de Proporcionamiento de mezclas de Concreto en Peso". Se muestran las proporciones en peso de los elementos que componen el concreto para cada mezcla, donde se puede observar la variación en las cantidades de agregado grueso y fino para cada una de las mezclas. Obteniéndose las siguientes relaciones arena/grava (a/g):

Cangrejera = (a/g) = 0.70

Jiboa = (a/g) = 0.92

Angue = (a/g) = 0.91

De lo que se puede concluir que las arenas trituradas tienen proporciones de agregado grueso y fino aproximadamente similar, que se puede deber entre otros aspectos a la gravedad específica y peso volumétrico de éstas ya que

poseen una mayor gravedad específica que las arenas naturales, traduciéndose en mayor peso para una misma unidad de volumen.

En el último gráfico se representan los proporcionamientos en peso de cada una de las mezclas, donde también hay que destacar las cantidades de agua y cemento utilizadas: la arena natural necesitó mayor cantidad de agua y por lo tanto se incrementó la cantidad de cemento, para mantener la relación agua cemento (a/c), esto se hizo para llegar al revenimiento requerido. En cambio para las arenas trituradas se mantuvieron los proporcionamientos iniciales.

El último cuadro que se muestra en este apartado contiene los proporcionamientos de cada una de las mezclas realizadas con base en la fecha de colado. Este cuadro difiere de los anteriores, en que muestra las proporciones en peso para un metro cúbico con correcciones por humedad, las cuales son diferentes entre sí para un mismo diseño, debido a que ya entran en cuenta otra variable, como es la humedad de los agregados gruesos y finos en el momento en que se hizo el concreto, así como también una propiedad física de los agregados que es la absorción. Representándose gráficamente los proporcionamientos promedios con correcciones por humedad de cada mezcla.



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

TRABAJO DE GRADUACION:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

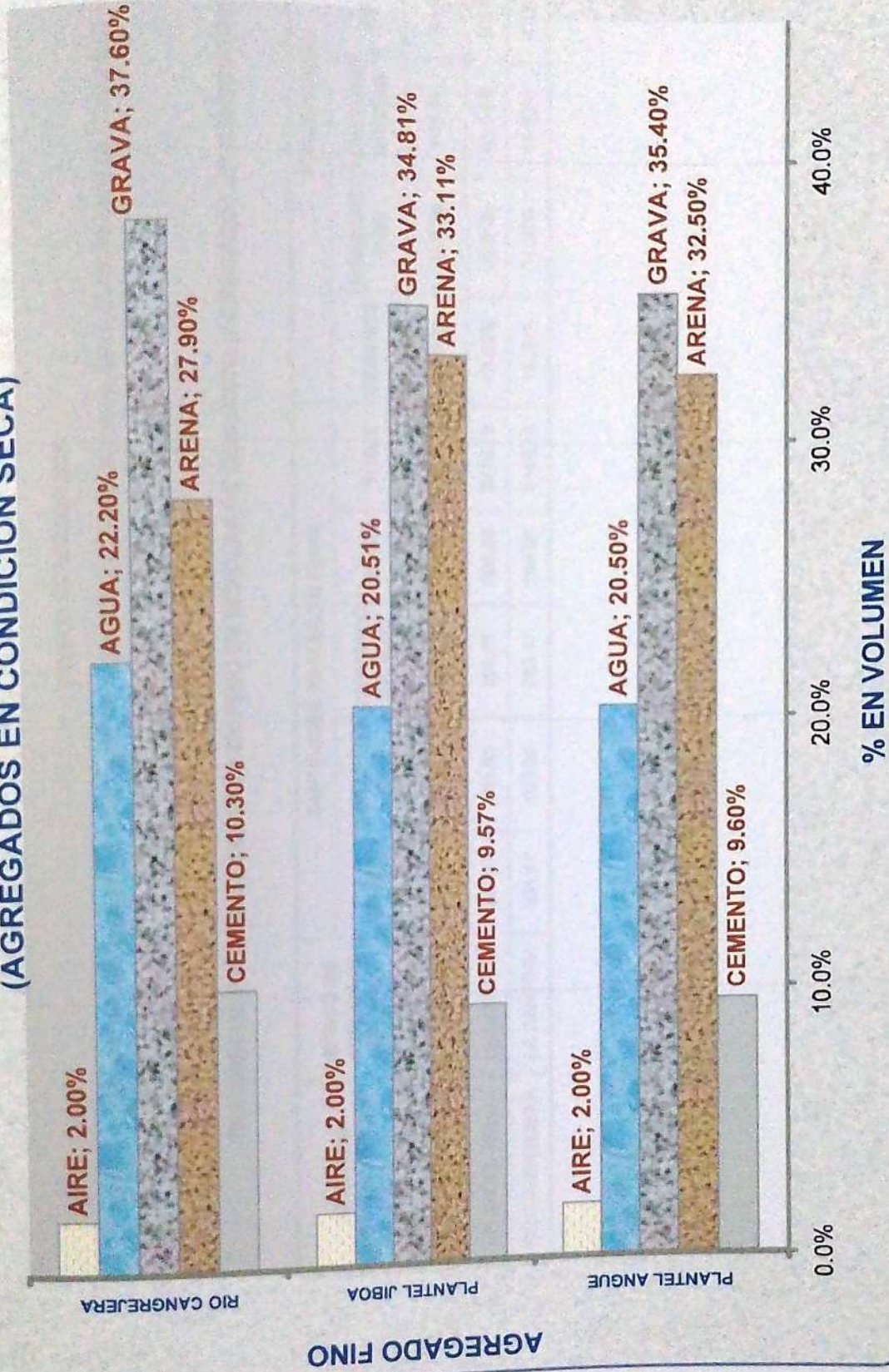
TABLA 4.15

RESUMEN DE PROPORCIONAMIENTO EN VOLUMEN DE MEZCLAS DE CONCRETO (AGREGADOS EN CONDICION SECA)

BANCO DE AGREGADO FINO	BANCO DE AGREGADO GRUESO	VOLUMEN PARA UN M3					PORCENTAJES PARA UN M3						
		CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA	AIRE	TOTAL	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA	AIRE	TOTAL
PLANTEL ANGUE	LA CANTERA	0.096	0.325	0.354	0.205	0.020	1.000	9.60%	32.50%	35.40%	20.50%	2.00%	100.00%
PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	0.096	0.331	0.348	0.205	0.020	1.000	9.57%	33.11%	34.81%	20.51%	2.00%	100.00%
RIO CANGREJERA	LA CANTERA	0.103	0.279	0.376	0.222	0.020	1.000	10.30%	27.90%	37.60%	22.20%	2.00%	100.00%



**GRAFICO 4.1**  
**PROPORCIONAMIENTO EN VOLUMEN PARA UN M3 DE CONCRETO**  
**(AGREGADOS EN CONDICION SECA)**





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



TRABAJO DE GRADUACION:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 4.16

RESUMEN DE PROPORCIONAMIENTO EN PESO DE MEZCLAS DE CONCRETO (AGREGADOS EN CONDICION SECA)

BANCO DE AGREGADO FINO	BANCO DE AGREGADO GRUESO	CANTIDADES REALES EN Kg/m <sup>3</sup>					PORCENTAJES				
		CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA	TOTAL	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA	TOTAL
PLANTEL ANGUE	LA CANTERA	301.47	825.50	906.95	205.00	2238.92	13.46%	36.87%	40.51%	9.16%	100.00%
PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	301.47	821.62	890.67	205.00	2218.76	13.59%	37.03%	40.14%	9.24%	100.00%
RIO CANGREJERA	LA CANTERA	301.47	675.69	963.17	205.00	2145.33	14.05%	31.50%	44.90%	9.56%	100.00%

**GRAFICO 4.2**  
**PROPORCIONAMIENTO EN PESO PARA UN M3 DE CONCRETO**  
**(AGREGADOS EN CONDICION SECA)**

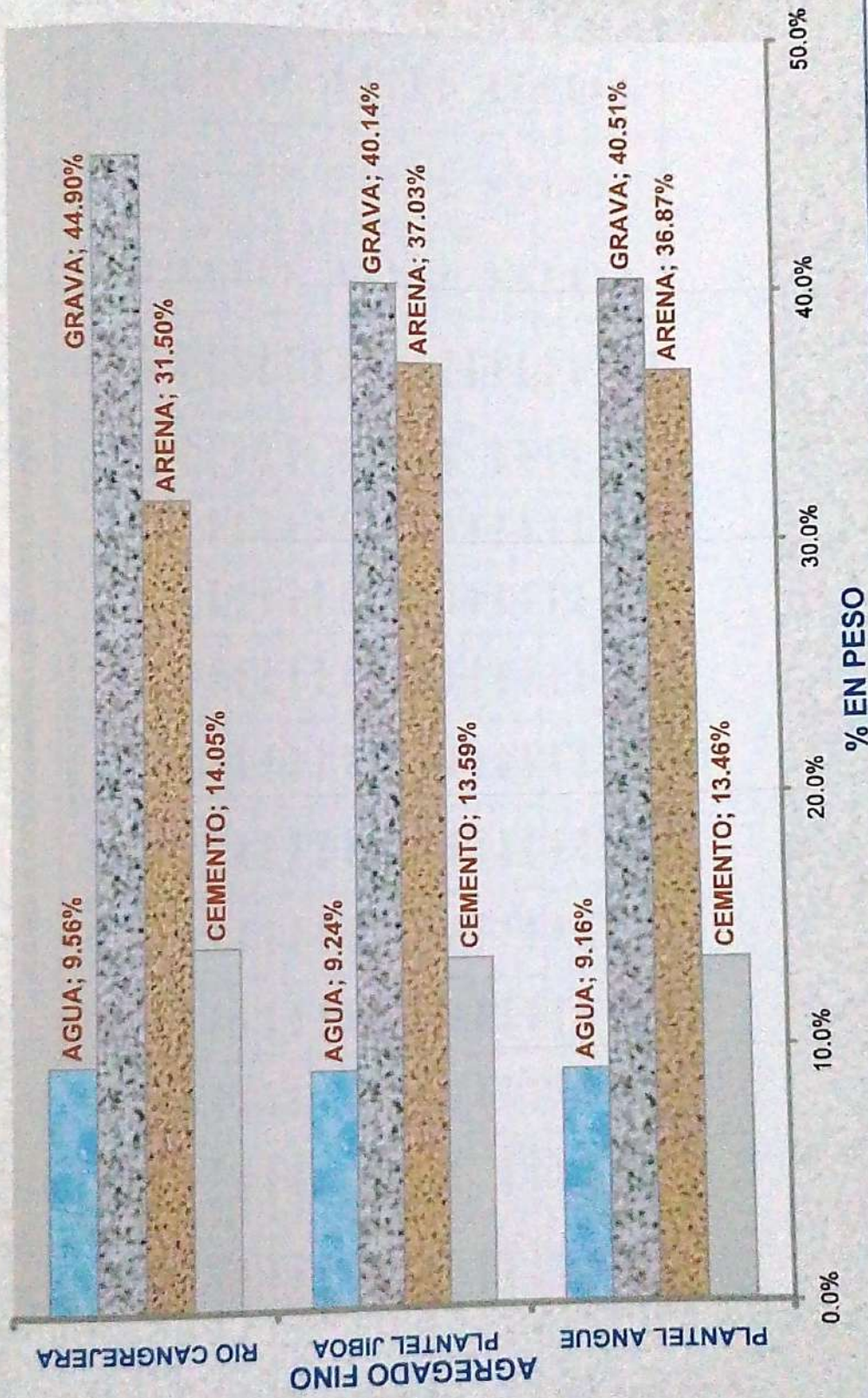


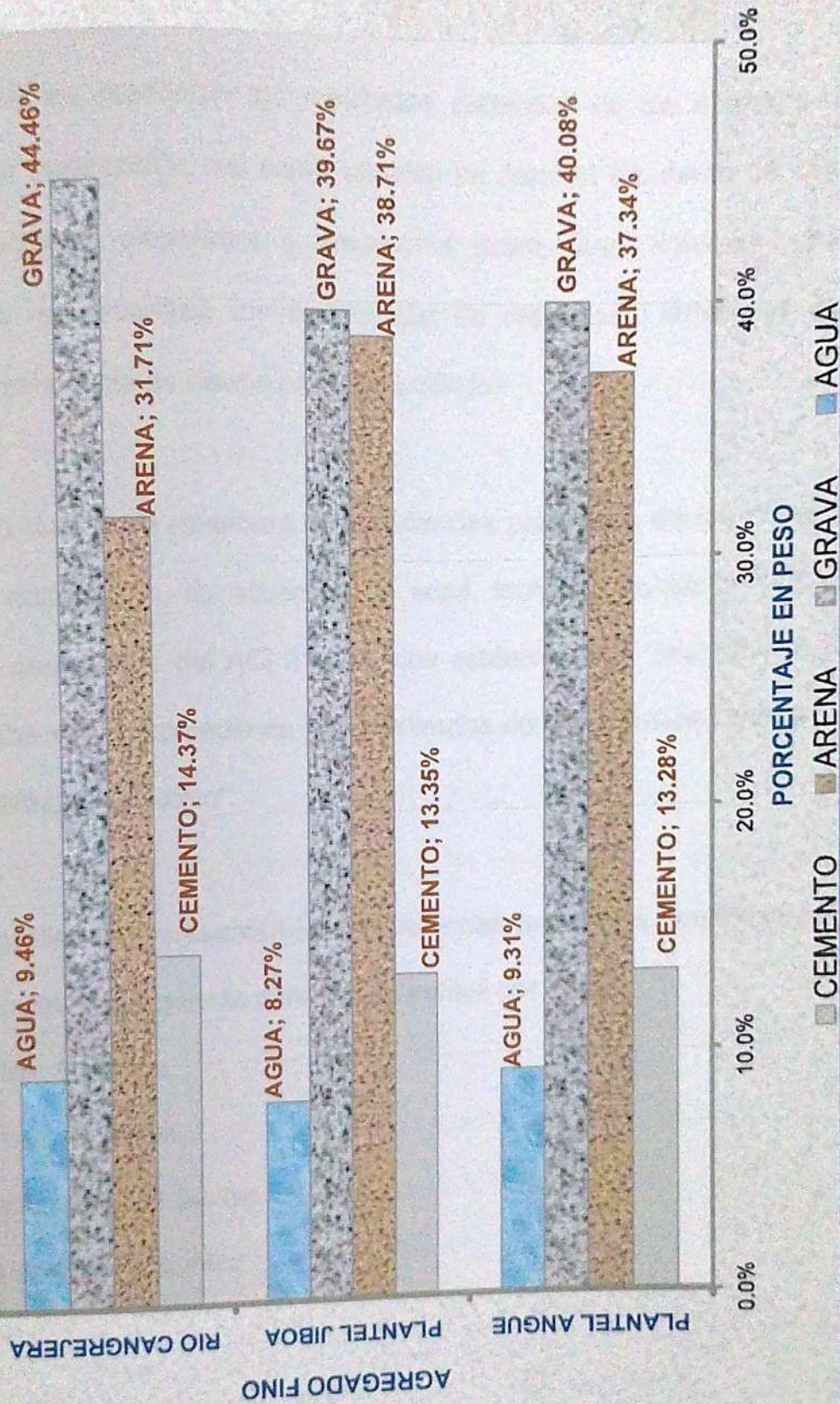


TABLA 4.17

RESUMEN DE PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

FECHA DE COLADO	BANCO DE AGREGADO FINO	BANCO DE AGREGADO GRUESO	CANTIDADES REALES EN Kg/m <sup>3</sup>										RELACION A/C	REVENIMIENTO	HUMEDAD AGREGADO FINO	HUMEDAD AGREGADO GRUESO
			CEMENTO	% DE CEMENTO	AGREGADO FINO	% DE AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	% DE AGREGADO GRUESO	AGUA	% DE AGUA	TOTAL	PESO VOLUMETRICO				
3-abr-05	PLANTEL ANQUE	LA CANTERA	301.47	13.26%	851.17	37.46%	909.84	40.07%	208.11	9.17%	2270.89	2355.32	0.68	5	3.11%	0.33%
3-abr-05	PLANTEL ANQUE	LA CANTERA	301.47	13.26%	851.17	37.49%	909.84	40.07%	208.11	9.17%	2270.89	2355.96	0.68	4 1/4	3.11%	0.33%
4-abr-05	PLANTEL ANQUE	LA CANTERA	301.47	13.26%	848.45	37.37%	911.85	40.16%	208.93	9.20%	2270.70	2355.32	0.68	4	2.78%	0.54%
5-abr-05	PLANTEL ANQUE	LA CANTERA	301.47	13.26%	848.28	37.36%	909.58	40.06%	211.36	9.31%	2270.68	2361.70	0.68	5	2.78%	0.29%
6-abr-05	PLANTEL ANQUE	LA CANTERA	301.47	13.26%	846.22	37.27%	911.03	40.12%	212.06	9.34%	2270.78	2350.00	0.68	4 1/2	2.51%	0.45%
9-abr-05	PLANTEL ANQUE	LA CANTERA	301.47	13.26%	841.43	37.06%	908.04	39.89%	219.75	9.68%	2270.69	2363.83	0.68	4 1/2	1.93%	0.12%
		PROMEDIOS	301.47	13.26%	847.78	37.24%	910.06	40.08%	211.39	9.31%		2358.89				
25-abr-05	PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	301.47	13.35%	876.34	38.80%	893.07	39.54%	187.93	8.32%	2258.81	2324.47	0.68	4 1/2	6.66%	0.27%
26-abr-05	PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	301.47	13.35%	856.46	37.82%	892.1	39.49%	208.80	9.24%	2256.83	2346.84	0.68	3 1/4	4.24%	0.16%
2-may-05	PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	301.47	13.35%	867.71	38.41%	892.90	39.53%	186.74	8.71%	2256.82	2332.88	0.68	3 1/2	5.81%	0.25%
3-may-05	PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	301.47	13.35%	800.50	38.86%	904.20	40.03%	152.74	6.76%	2256.91	2346.81	0.68	3 1/4	8.69%	1.51%
7-may-05	PLANTEL JIBOA	LA CANTERA	301.47	13.35%	870.92	38.56%	898.60	39.76%	187.83	8.32%	2256.82	2350.00	0.68	3 3/4	6.00%	0.89%
		PROMEDIOS	301.47	13.35%	874.38	38.71%	896.17	39.67%	186.81	8.27%		2346.84				
11-abr-05	RIO CANGREJERA	LA CANTERA	301.47	13.76%	713.8	32.59%	869.33	44.26%	205.61	9.39%	2190.21	2268.09	0.68	3 1/2	5.64%	0.64%
12-abr-05	RIO CANGREJERA	LA CANTERA	301.47	13.76%	717.52	32.76%	867.69	44.18%	203.73	9.30%	2190.41	2263.19	0.68	3 1/4	6.19%	0.47%
14-abr-05	RIO CANGREJERA	LA CANTERA	301.43	13.76%	728.33	33.25%	867.02	44.15%	193.40	8.03%	2190.16	2261.70	0.68	3 3/4	7.79%	0.40%
18-abr-05	RIO CANGREJERA	LA CANTERA	325.82	14.98%	655.46	30.14%	970.48	44.63%	222.97	10.25%	2174.74	2290.43	0.68	3 1/2	5.35%	0.76%
23-abr-05	RIO CANGREJERA	LA CANTERA	325.85	14.98%	668.08	30.77%	973.49	44.76%	206.36	9.49%	2174.78	2268.09	0.68	3 1/4	7.54%	1.07%
23-abr-05	RIO CANGREJERA	LA CANTERA	325.85	14.98%	669.08	30.77%	973.49	44.76%	206.36	9.49%	2174.78	2267.02	0.68	4 1/2	7.54%	1.07%
		PROMEDIOS	313.65	14.37%	682.21	31.71%	970.25	44.46%	206.41	9.46%		2288.09				

**GRAFICO 4.3**  
**PROPORCIONAMIENTO PROMEDIO EN PESO PARA UN M3**  
**DE CONCRETO**



#### 4.4.3. Ensayos de cilindros de concreto empleando arena del Plantel Angue

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión, así como también se detallan los datos de cada uno de los cilindros elaborados y ensayados (peso, área, volumen, peso volumétrico), y se muestran los porcentajes de resistencia obtenidos con respecto a la resistencia de diseño para cada cilindro.

En el segundo cuadro se muestran las resistencias promedios de los cilindros ensayados a compresión, de acuerdo a la edad, fecha de colado y ruptura, siguiendo los parámetros del ACI 318-02, que establece que "una prueba de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de dos cilindros hechos de la misma muestra de concreto".

En el primer grafico se representaron las resistencias promedios obtenidas para cada edad, teniendo la siguiente cantidad de puntos por edad:

- Tres días, 6 puntos
- Siete días, 6 puntos
- Veintiocho días, 24 puntos

Graficándose en total 36 puntos

Además, en el gráfico se muestra la línea de tendencia que sigue la resistencia a medida va aumentando la edad del concreto, a los 28 días se obtuvo una resistencia de  $368.91 \text{ kg/cm}^2$ .

El segundo gráfico muestra la relación del Peso Volumétrico del concreto con la Resistencia a la Compresión obtenida a los 28 días. Se graficaron los pesos volumétricos de cada mezcla realizada en función de las resistencias obtenidas, obteniéndose una tendencia aproximadamente constante del peso volumétrico a medida aumenta la resistencia, aunque tiende a marcar una relación inversa entre el peso volumétrico y la resistencia.

En el tercer gráfico se representa la Variación de la Resistencia a la Compresión (a los 28 días) con el Revenimiento, mostrándose la línea de tendencia, la cual indica claramente que a mayor resistencia el revenimiento disminuye y viceversa lo que indica una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros.

Por último se muestran cuadros y gráficos de resistencia a la compresión para las edades de 3, 7 y 28 días. Donde se representa la variación de la resistencia a estas edades en función de la fecha de ruptura.

Se observa que a la edad de tres días la variación de la resistencia no es tan pronunciada según la línea de tendencia, no así para las edades de 7 y 28 días donde la pendiente de la línea de tendencia es mayor.

Otro aspecto que se puede observar, es que según los gráficos los cilindros de los últimos colados, obtuvieron resistencias menores a las edades de 3 y 7 días, notándose un cambio a la edad de 28 días, donde la resistencia a la compresión a esta edad es mayor a la de los primeros colados.



BANCO DE ARENA:  
ARENA ANGUE  
RESISTENCIA DE DISEÑO: 210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.18: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kg $\bar{n}$ )	RESISTENCIA (Kg $\bar{n}$ /cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>a</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg $\bar{n}$ /cm <sup>2</sup> )
1	03-abr-05	06-abr-05	3	12.88	178.06	5,388.59	2,410.20	39,840	222.50	105.95%	210.20
2	03-abr-05	06-abr-05	3	13.05	178.13	5,391.84	2,420.32	35,450	197.90	94.24%	
3	03-abr-05	10-abr-05	7	13.39	181.47	5,462.20	2,451.40	56,110	308.20	147.24%	299.45
4	03-abr-05	10-abr-05	7	13.19	181.43	5,461.01	2,415.30	52,560	289.70	137.95%	
5	03-abr-05	01-may-05	28	13.37	181.44	5,461.48	2,448.06	67,080	369.70	176.05%	354.75
6	03-abr-05	01-may-05	28	13.00	181.46	5,461.94	2,380.11	61,660	339.80	161.81%	
7	03-abr-05	01-may-05	28	13.30	181.49	5,462.76	2,434.67	61,270	337.60	160.76%	337.90
8	03-abr-05	01-may-05	28	13.00	181.46	5,461.97	2,380.10	61,370	338.20	161.05%	
9	03-abr-05	01-may-05	28	13.30	181.46	5,461.89	2,435.05	66,450	366.20	174.38%	345.30
10	03-abr-05	01-may-05	28	12.94	181.44	5,461.42	2,369.35	58,860	324.40	154.48%	
11	03-abr-05	01-may-05	28	12.95	181.45	5,461.59	2,371.10	60,640	334.20	159.14%	354.35
12	03-abr-05	01-may-05	28	13.13	181.44	5,461.40	2,404.14	67,950	374.50	178.33%	
13	03-abr-05	06-abr-05	3	12.99	179.13	6,391.95	2,409.15	39,320	219.50	104.52%	214.60
14	03-abr-05	06-abr-05	3	13.19	178.07	5,389.87	2,447.18	37,550	208.70	99.86%	
15	03-abr-05	10-abr-05	7	13.19	181.46	5,462.08	2,414.83	51,790	285.40	135.90%	274.45
16	03-abr-05	10-abr-05	7	13.01	181.48	5,462.55	2,381.67	47,820	263.50	125.48%	
17	03-abr-05	01-may-05	28	13.29	181.44	5,461.45	2,433.42	67,370	371.30	176.81%	348.35
18	03-abr-05	01-may-05	28	13.05	181.44	5,461.29	2,389.55	59,040	325.40	154.95%	369.55
19	03-abr-05	01-may-05	28	13.02	181.44	5,461.33	2,384.03	65,790	362.60	172.67%	
20	03-abr-05	01-may-05	28	13.07	181.46	5,461.87	2,392.91	68,320	376.50	179.29%	358.55
21	03-abr-05	01-may-05	28	13.15	181.43	5,460.90	2,408.03	64,660	356.40	169.71%	
22	03-abr-05	01-may-05	28	13.02	181.48	5,462.56	2,383.50	65,460	360.70	171.76%	



BANCO DE ARENA: ARENA ANGUE  
RESISTENCIA DE DISEÑO: 210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.18: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>'</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
23	03-abr-05	01-may-05	28	13.21	181.48	5,462.00	2,418.53	72,240	398.10	189.57%	361.83
24	03-abr-05	01-may-05	28	13.00	181.44	5,461.22	2,380.42	61,670	339.90	161.86%	
25	03-abr-05	01-may-05	28	13.03	181.44	5,461.21	2,385.82	62,940	346.80	165.19%	
26	04-abr-05	07-abr-05	3	13.16	181.48	5,462.45	2,409.17	43,980	242.40	115.43%	252.10
27	04-abr-05	07-abr-05	3	12.98	181.44	5,461.23	2,376.75	47,500	261.80	124.67%	
28	04-abr-05	11-abr-05	7	13.17	181.41	5,460.40	2,411.91	50,740	279.70	133.19%	278.45
28	04-abr-05	11-abr-05	7	12.93	181.46	5,461.87	2,387.32	50,300	277.20	132.00%	
30	04-abr-05	02-may-05	28	13.16	181.47	5,462.33	2,409.23	62,100	342.20	162.95%	350.55
31	04-abr-05	02-may-05	28	13.01	181.44	5,461.44	2,382.15	65,120	358.80	170.80%	
32	04-abr-05	02-may-05	28	13.00	181.48	5,462.56	2,378.83	71,340	393.10	187.19%	385.40
33	04-abr-05	02-may-05	28	13.40	181.47	5,462.20	2,453.22	72,170	387.70	189.38%	
34	04-abr-05	02-may-05	28	13.25	165.11	4,989.88	2,666.17	73,340	444.20	211.52%	399.90
35	04-abr-05	02-may-05	28	13.02	181.47	5,462.19	2,383.66	64,530	355.60	169.33%	
36	04-abr-05	02-may-05	28	13.11	181.48	5,462.65	2,399.93	69,980	385.60	183.62%	373.87
37	04-abr-05	02-may-05	28	13.02	181.47	5,462.23	2,383.64	66,200	364.80	173.71%	
38	04-abr-05	02-may-05	28	13.37	181.47	5,462.11	2,447.77	87,360	371.20	176.76%	
39	05-abr-05	08-abr-05	3	13.00	181.47	5,462.29	2,378.95	33,790	186.20	88.67%	192.60
40	05-abr-05	08-abr-05	3	12.95	181.46	5,461.88	2,370.99	36,110	199.00	94.76%	
41	05-abr-05	12-abr-05	7	13.00	181.47	5,462.32	2,379.94	51,030	261.20	133.80%	271.70
42	05-abr-05	12-abr-05	7	13.14	181.50	5,463.23	2,405.17	47,590	262.20	124.86%	
43	05-abr-05	03-may-05	28	13.05	181.45	5,461.79	2,389.32	65,850	362.90	172.81%	343.50
44	05-abr-05	03-may-05	28	13.04	181.43	5,460.81	2,387.88	58,800	324.10	154.33%	

BANCO DE ARENA:  
RESISTENCIA DE DISEÑO:

ARENA ANGUE  
210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.18: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>'</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
45	05-abr-05	03-may-05	28	13.43	181.48	5,462.56	2,458.55	71,830	395.80	188.48%	380.90
46	05-abr-05	03-may-05	28	13.07	181.45	5,481.59	2,393.08	66,410	366.00	174.28%	
47	05-abr-05	03-may-05	28	13.01	181.45	5,461.54	2,382.11	67,480	371.90	177.10%	373.80
48	05-abr-05	03-may-05	28	13.20	181.47	5,462.38	2,416.53	68,180	375.70	178.90%	
49	05-abr-05	03-may-05	28	13.18	181.47	5,462.38	2,412.87	68,180	375.70	178.90%	370.37
50	05-abr-05	03-may-05	28	13.27	181.43	5,461.16	2,429.89	64,790	357.10	170.05%	
51	05-abr-05	03-may-05	28	13.38	181.47	5,462.24	2,448.54	68,650	378.30	180.14%	
52	08-abr-05	11-abr-05	3	13.18	181.47	5,462.39	2,412.86	39,380	217.00	103.33%	217.50
53	08-abr-05	11-abr-05	3	13.04	181.47	5,462.18	2,387.32	39,560	218.00	103.81%	
54	08-abr-05	15-abr-05	7	12.98	181.47	5,462.23	2,376.32	44,950	247.70	117.95%	269.00
55	08-abr-05	15-abr-05	7	13.35	181.43	5,461.13	2,444.55	52,670	290.30	138.24%	
56*	08-abr-05	06-may-05	28	13.06	179.08	5,390.25	2,422.88	65,000	362.97	172.84%	392.29
57*	08-abr-05	06-may-05	28	13.05	179.08	5,390.30	2,421.02	75,500	421.60	200.76%	
58*	08-abr-05	06-may-05	28	13.34	181.46	5,461.91	2,442.37	70,250	387.14	184.35%	374.36
59*	08-abr-05	06-may-05	28	13.01	179.08	5,390.31	2,413.59	64,750	361.57	172.18%	
60*	08-abr-05	06-may-05	28	13.01	179.08	5,390.28	2,413.60	65,500	365.76	174.17%	361.57
61*	08-abr-05	06-may-05	28	12.87	179.08	5,390.34	2,406.16	64,000	357.38	170.16%	
62*	08-abr-05	06-may-05	28	13.11	181.46	5,461.91	2,400.26	67,000	369.23	175.82%	370.29
63*	08-abr-05	06-may-05	28	12.99	178.08	5,380.34	2,408.87	66,500	371.34	176.83%	
64	09-abr-05	12-abr-05	3	13.01	181.46	5,461.98	2,381.92	38,510	201.20	95.81%	213.65
65	09-abr-05	12-abr-05	3	13.00	181.42	5,460.87	2,380.57	41,020	226.10	107.67%	
66	09-abr-05	16-abr-05	7	13.01	176.75	5,320.21	2,445.39	48,200	272.70	129.86%	275.35
67	09-abr-05	16-abr-05	7	13.35	176.69	5,318.38	2,510.16	49,120	278.00	132.38%	



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACIÓN COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO"



BANCO DE ARENA:  
 ARENA ANGUE  
 210 Kg/cm<sup>2</sup>

RESISTENCIA DE DISEÑO: TABLA 4.18: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>c</sup>	RESISTENCIA PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
68	09-abr-05	07-may-05	28	13.36	181.45	5,461.68	2,446.13	71,020	391.40	186.38%	400.80
69	09-abr-05	07-may-05	28	13.34	181.45	5,461.59	2,442.51	74,430	410.20	195.33%	
70	09-abr-05	07-may-05	28	13.15	181.43	5,461.04	2,407.96	70,540	388.80	185.14%	391.35
71	09-abr-05	07-may-05	28	13.11	181.47	5,462.12	2,400.17	67,850	373.90	178.05%	
72	09-abr-05	07-may-05	28	13.07	181.46	5,461.83	2,392.97	68,790	376.10	180.52%	374.80
73	09-abr-05	07-may-05	28	13.06	181.46	5,462.08	2,391.03	67,160	370.10	176.24%	
74	09-abr-05	07-may-05	28	13.10	181.46	5,462.08	2,398.35	63,440	349.80	166.48%	
75	09-abr-05	07-may-05	28	13.05	181.45	5,461.63	2,389.40	69,350	382.20	182.00%	374.07
76	09-abr-05	07-may-05	28	13.19	181.48	5,462.56	2,414.62	70,850	390.40	185.90%	

NOTAS:

FALLA TÍPICA PARA TODOS LOS CILINDROS ES: CORTANTE

ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA CONCRETERA SALVADOREÑA

\* RUPTURA DE CILINDROS REALIZADA EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



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

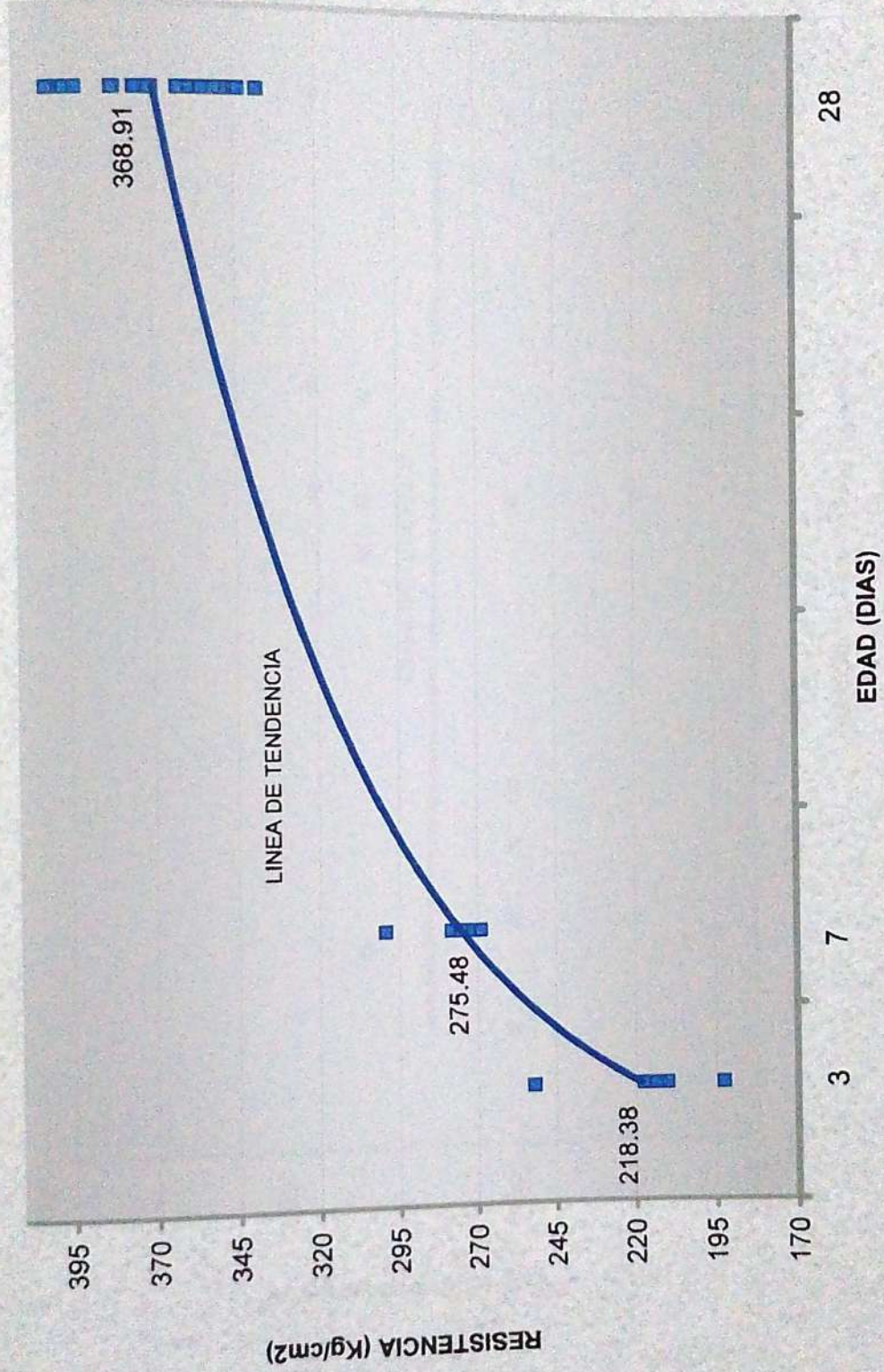


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.19: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA PLANTEL ANGUE

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 03/ABRIL/2005	6-abr-2005	2355.32			
	10-abr-2005	2355.32	5	3	210.20
	1-may-2005	2355.32	5	7	299.45
	1-may-2005	2355.32	5	28	354.75
	1-may-2005	2355.32	5	28	337.90
	1-may-2005	2355.32	5	28	345.30
2 03/ABRIL/2005	6-abr-2005	2365.96			
	10-abr-2005	2365.96	4 1/4	3	214.60
	1-may-2005	2365.96	4 1/4	7	274.45
	1-may-2005	2365.96	4 1/4	28	348.35
	1-may-2005	2365.96	4 1/4	28	369.55
	1-may-2005	2365.96	4 1/4	28	358.55
3 04/ABRIL/2005	7-abr-2005	2355.32			
	11-abr-2005	2355.32	4	3	252.10
	2-may-2005	2355.32	4	7	278.45
	2-may-2005	2355.32	4	28	350.55
	2-may-2005	2355.32	4	28	395.40
	2-may-2005	2355.32	4	28	399.90
4 05/ABRIL/2005	2-may-2005	2355.32	4	28	373.87
	8-abr-2005	2361.70			
	12-abr-2005	2361.70	5	3	192.60
	3-may-2005	2361.70	5	7	271.70
	3-may-2005	2361.70	5	28	343.50
	3-may-2005	2361.70	5	28	380.90
5 08/ABRIL/2005	3-may-2005	2361.70	5	28	373.80
	3-may-2005	2361.70	5	28	370.37
	11-abr-2005	2350.00	4 1/2	3	217.50
	15-abr-2005	2350.00	4 1/2	7	269.00
	6-may-2005	2350.00	4 1/2	28	392.29
	6-may-2005	2350.00	4 1/2	28	374.36
6 09/ABRIL/2005	6-may-2005	2350.00	4 1/2	28	361.57
	6-may-2005	2350.00	4 1/2	28	370.29
	6-may-2005	2350.00	4 1/2	28	361.57
	12-abr-2005	2363.83	4 1/2	3	213.65
	16-abr-2005	2363.83	4 1/2	7	275.35
	7-may-2005	2363.83	4 1/2	28	400.80
6 09/ABRIL/2005	7-may-2005	2363.83	4 1/2	28	381.35
	7-may-2005	2363.83	4 1/2	28	374.60
	7-may-2005	2363.83	4 1/2	28	374.07

GRAFICO 4.4  
RESISTENCIA DE CONCRETO ARENA PLANTEL ANGUE



**GRAFICO 4.5**  
**PESO VOLUMETRICO VRS RESISTENCIA A LA COMPRESION**  
**ARENA PLANTEL ANGUÉ**

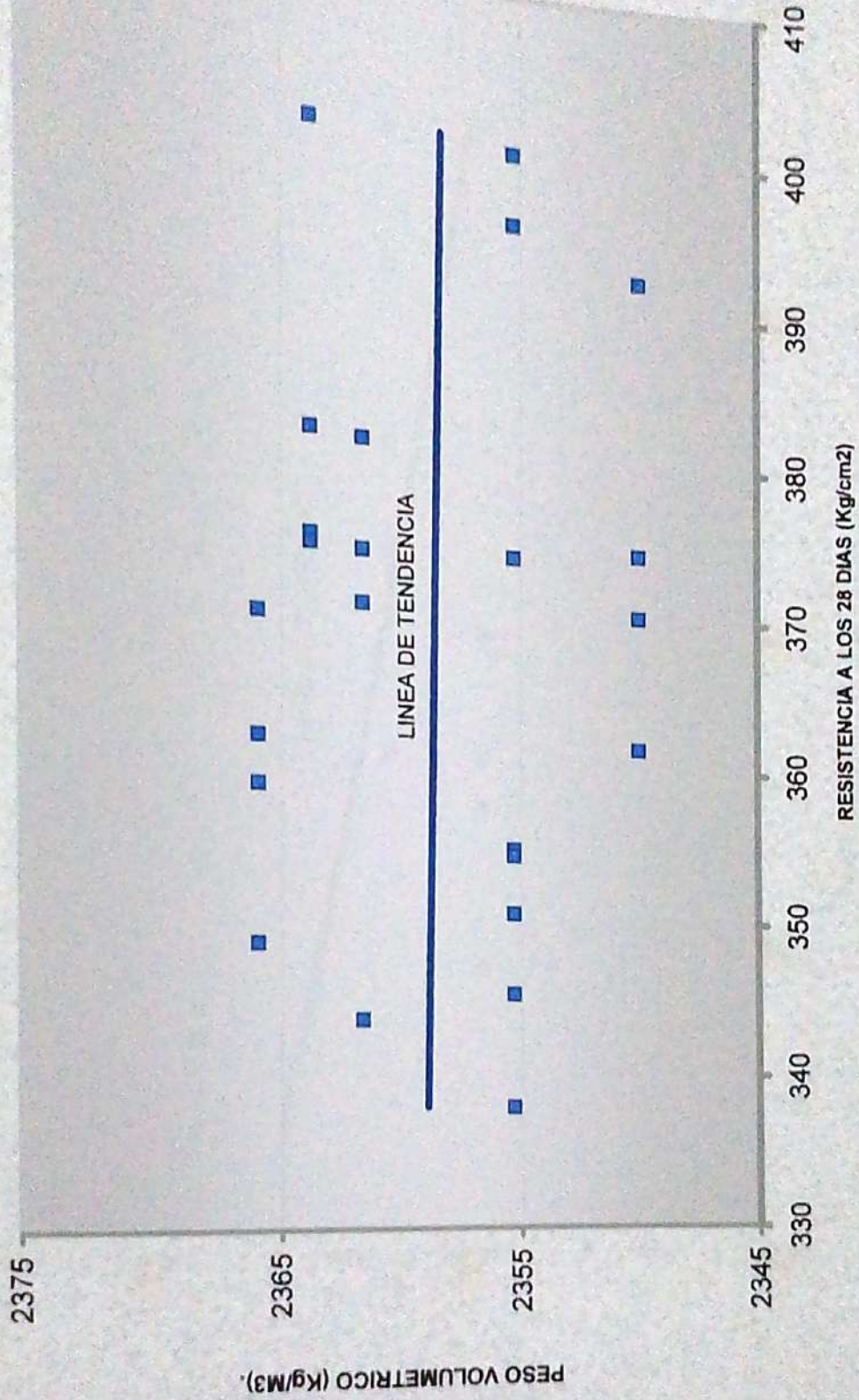
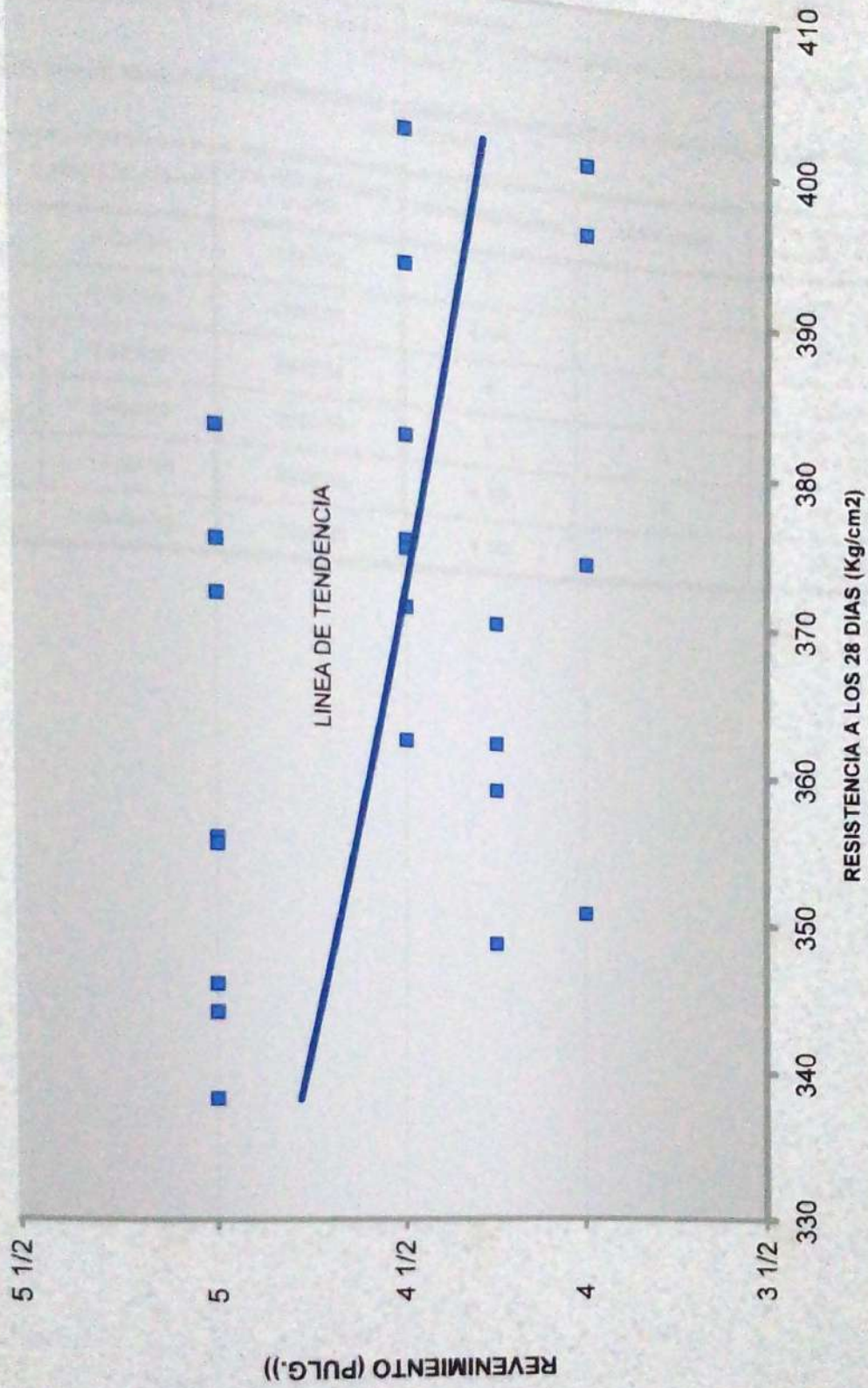


GRAFICO 4.6  
 REVENIMIENTO VRS RESISTENCIA A LA COMPRESION  
 ARENA PLANTEL ANGUE





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

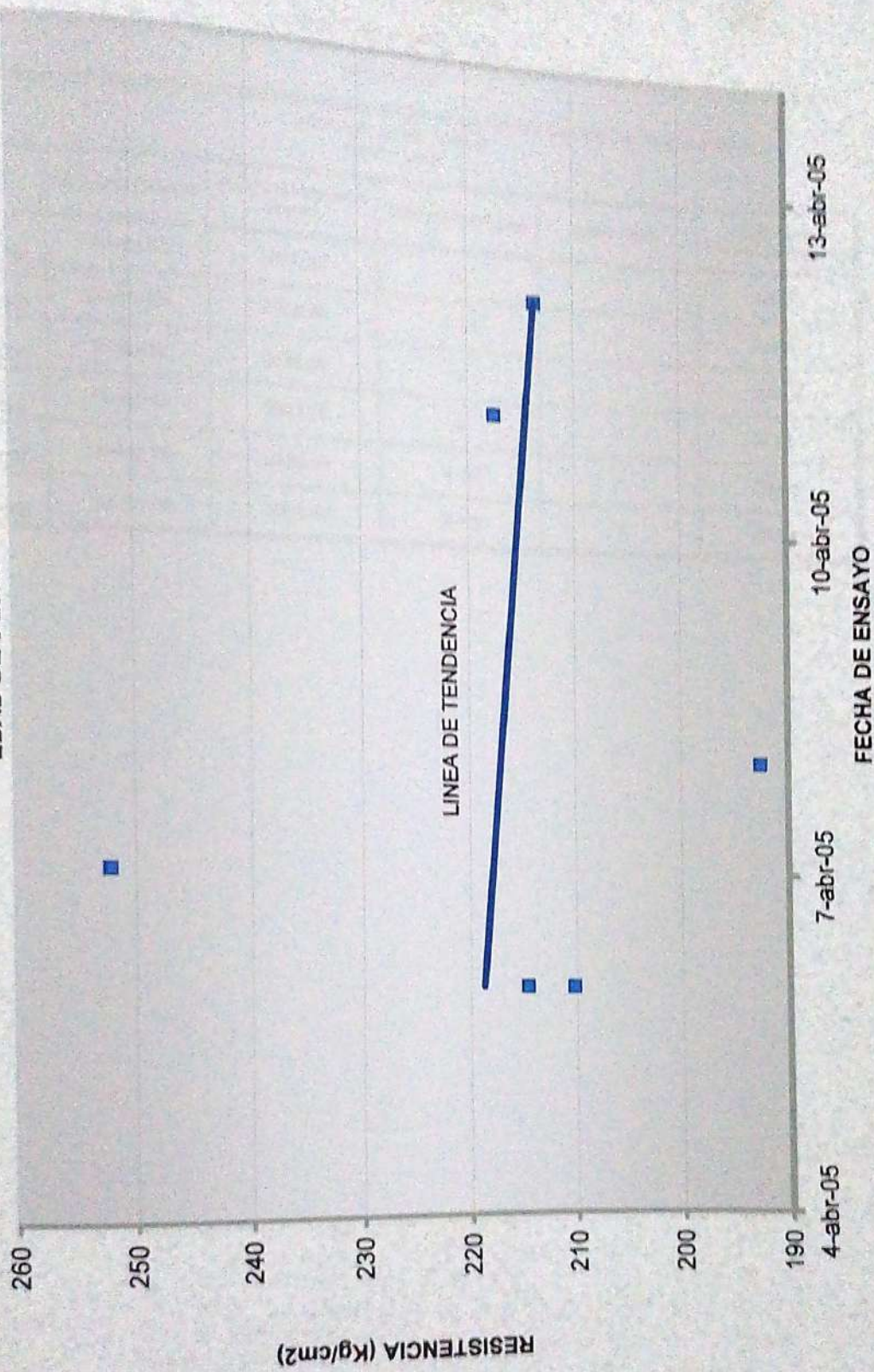


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.20: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA PLANTEL ANQUE  
EDAD 3 DIAS

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 03/ABRIL/2005	6-abr-05	2355.32	5	3	210.20
2 03/ABRIL/2005	6-abr-05	2365.96	4 1/4	3	214.60
3 04/ABRIL/2005	7-abr-05	2355.32	4	3	252.10
4 05/ABRIL/2005	8-abr-05	2361.70	5	3	192.60
5 08/ABRIL/2005	11-abr-05	2350.00	4 1/2	3	217.50
6 09/ABRIL/2005	12-abr-05	2363.83	4 1/2	3	213.65

**GRAFICO 4.7**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA PLANTEL ANGUE**  
**EDAD DE 3 DIAS**





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

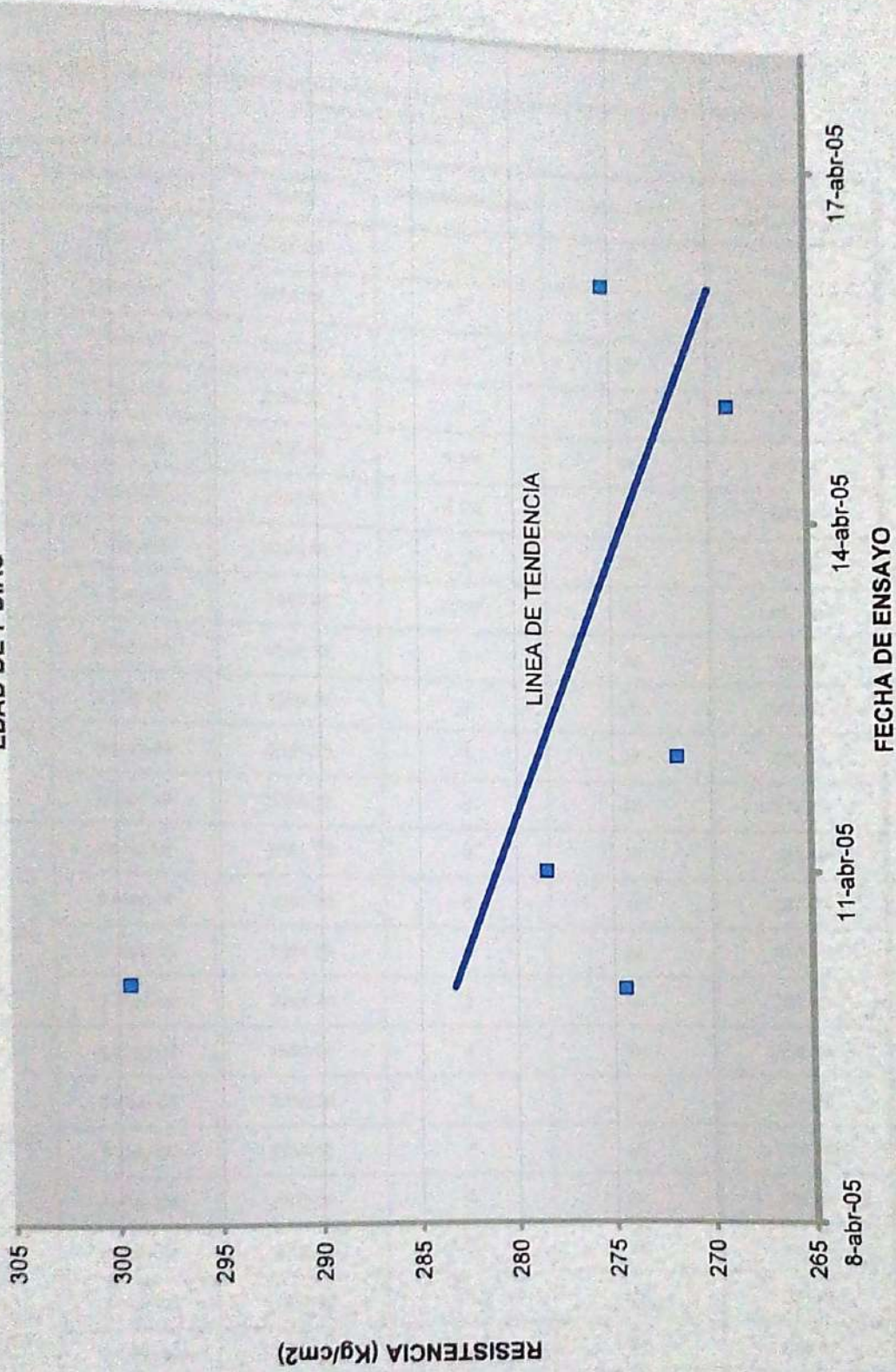


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.21: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO  
ARENA PLANTEL ANGUE  
EDAD 7 DIAS

No. Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1 03/ABRIL/2005	10-abr-05	2355.32	5	7	299.45
2 03/ABRIL/2005	10-abr-05	2365.96	4 1/4	7	274.45
3 04/ABRIL/2005	11-abr-05	2355.32	4	7	278.45
4 05/ABRIL/2005	12-abr-05	2361.70	5	7	271.70
5 08/ABRIL/2005	15-abr-05	2350.00	4 1/2	7	269.00
6 09/ABRIL/2005	16-abr-05	2363.83	4 1/2	7	275.35

GRAFICO 4.8  
VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO  
ARENA PLANTEL ANGUE  
EDAD DE 7 DIAS





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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.22: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO  
ARENA PLANTEL ANGUE  
EDAD 28 DIAS

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 03/ABRIL/2005	1-may-05	2355.32	5	28	354.75
	1-may-05	2355.32	5	28	337.90
	1-may-05	2355.32	5	28	345.30
	1-may-05	2355.32	5	28	354.35
2 03/ABRIL/2005	1-may-05	2365.96	4 1/4	28	348.35
	1-may-05	2365.96	4 1/4	28	369.55
	1-may-05	2365.96	4 1/4	28	358.55
	1-may-05	2365.96	4 1/4	28	361.63
3 04/ABRIL/2005	2-may-05	2355.32	4	28	350.55
	2-may-05	2355.32	4	28	395.40
	2-may-05	2355.32	4	28	399.90
	2-may-05	2355.32	4	28	373.87
4 05/ABRIL/2005	3-may-05	2361.70	5	28	343.50
	3-may-05	2361.70	5	28	380.90
	3-may-05	2361.70	5	28	373.80
	3-may-05	2361.70	5	28	380.90
5 08/ABRIL/2005	6-may-05	2350.00	5	28	392.29
	6-may-05	2350.00	5	28	374.36
	6-may-05	2350.00	5	28	374.36
	6-may-05	2350.00	5	28	361.57
6 09/ABRIL/2005	7-may-05	2363.83	4 1/2	28	400.80
	7-may-05	2363.83	4 1/2	28	381.35
	7-may-05	2363.83	4 1/2	28	374.80
	7-may-05	2363.83	4 1/2	28	374.07



#### 4.4.4. Ensayos de cilindros de concreto empleando arena del Plantel Jiboa

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión, así como también se detallan los datos de cada uno de los cilindros elaborados y ensayados (peso, área, volumen, peso volumétrico), y se muestran los porcentajes de resistencia obtenidos con respecto a la resistencia de diseño para cada cilindro.

En el segundo cuadro se muestran las resistencias promedios de los cilindros ensayados a compresión, de acuerdo a la edad, fecha de colado y ruptura, siguiendo los parámetros del ACI 318-02

En el primer grafico se presentan las resistencias promedios obtenidas para cada edad, teniendo la siguiente cantidad de puntos por edad:

- Tres días, 5 puntos
- Siete días, 5 puntos
- Veintiocho días, 22 puntos

Graficándose en total 32 puntos

Además, en el grafico se muestra la línea de tendencia que sigue la resistencia a medida va aumentando la edad del concreto, a los 28 días se obtuvo una resistencia de  $350.01 \text{ kg/cm}^2$ .

El segundo grafico muestra la relación del Peso Volumétrico del concreto con la Resistencia a la Compresión obtenida a los 28 días. Se graficaron los pesos volumétricos de cada mezcla realizada en función de las resistencias obtenidas, obteniéndose una relación directamente proporcional, es decir que a mayor peso volumétrico se tiene mayor resistencia a la compresión.

En el tercer grafico se representa la Variación de la Resistencia a la Compresión (a los 28 días) con el Revenimiento, mostrándose la línea de tendencia, la cual indica claramente que a mayor resistencia el revenimiento disminuye y viceversa lo que indica una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros.

Por ultimo se muestran cuadros y gráficos de resistencia a la compresión para las edades de 3, 7 y 28 días. Donde se representa la variación de la resistencia a estas edades en función de la fecha de ruptura.

Se observa que las pendientes de las líneas de tendencia para las tres edades son similares, notándose que para los 3 y 28 días las líneas de tendencia tienen una pendiente positiva, en cambio a los siete días la pendiente se muestra negativa.



BANCO DE ARENA:  
RESISTENCIA DE DISEÑO:

ARENA JIBOA  
210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.23: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kg/f/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>a</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/f/cm <sup>2</sup> )
1	25-abr-05	28-abr-05	3	13.08	181.47	5,462.20	2,394.64	25,460	140.30	66.81%	138.60
2	25-abr-05	28-abr-05	3	12.97	181.45	5,461.53	2,374.79	24,840	136.90	65.19%	
3	25-abr-05	02-may-05	7	13.17	181.41	5,460.40	2,411.91	37,860	208.70	99.38%	219.30
4	25-abr-05	02-may-05	7	12.93	181.47	5,462.25	2,367.16	41,720	229.90	109.48%	
5	25-abr-05	23-may-05	28	12.89	181.47	5,462.21	2,359.85	52,390	288.70	137.48%	307.55
6	25-abr-05	23-may-05	28	13.03	181.43	5,461.16	2,385.94	59,220	326.40	155.43%	
7	25-abr-05	23-may-05	28	12.95	181.44	5,461.26	2,371.25	53,270	293.60	139.81%	323.85
8	25-abr-05	23-may-05	28	13.08	181.45	5,461.52	2,394.94	64,250	354.10	168.62%	
9	25-abr-05	23-may-05	28	12.97	181.45	5,461.78	2,374.68	67,120	369.90	176.14%	343.15
10	25-abr-05	23-may-05	28	12.86	181.48	5,462.52	2,354.22	57,420	316.40	150.67%	
11	25-abr-05	23-may-05	28	12.98	181.46	5,461.87	2,376.48	64,000	352.70	167.95%	
12	25-abr-05	23-may-05	28	13.03	181.45	5,461.60	2,385.75	57,120	314.80	149.90%	332.93
13	25-abr-05	23-may-05	28	13.18	181.47	5,462.16	2,412.97	60,120	331.30	157.76%	
14	28-abr-05	01-may-05	3	13.26	181.46	5,461.94	2,427.71	34,060	187.70	89.38%	172.35
15	28-abr-05	01-may-05	3	12.94	181.40	5,460.18	2,369.89	28,480	157.00	74.76%	
16	28-abr-05	05-jun-06	7	12.90	181.44	5,461.34	2,362.06	48,390	266.70	127.00%	246.55
17	28-abr-05	05-jun-06	7	13.04	181.45	5,461.61	2,387.58	41,080	226.40	107.81%	
18	28-abr-05	26-may-05	28	13.00	181.43	5,461.04	2,380.50	59,890	330.10	157.19%	350.55
19	28-abr-05	26-may-05	28	12.97	181.46	5,461.81	2,374.67	67,320	371.00	176.67%	
20	28-abr-05	26-may-05	28	12.97	181.44	5,461.32	2,374.88	53,960	297.40	141.62%	323.20
21	28-abr-05	26-may-05	28	12.92	181.46	5,461.99	2,365.44	63,330	348.00	166.19%	
22	28-abr-05	26-may-05	28	13.02	181.45	5,461.59	2,383.92	62,400	343.90	163.76%	340.80
23	28-abr-05	26-may-05	28	12.93	181.47	5,462.36	2,367.11	61,320	337.90	160.90%	



BANCO DE ARENA:  
RESISTENCIA DE DISEÑO: ARENA JIBOA  
210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.23: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>^</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
24	28-abr-05	26-may-05	28	13.00	181.43	5,461.03	2,380.50	67,510	372.10	177.19%	364.95
25	28-abr-05	26-may-05	28	12.92	181.44	5,461.41	2,365.69	64,920	357.80	170.38%	
26	02-may-05	05-may-05	3	12.86	181.40	5,460.10	2,355.27	24,380	134.40	64.00%	148.45
27	02-may-05	05-may-05	3	12.80	181.48	5,462.46	2,343.27	29,490	162.50	77.38%	
28	02-may-05	09-may-05	7	12.85	181.48	5,462.59	2,352.36	41,160	228.80	108.00%	222.50
29	02-may-05	09-may-05	7	13.09	181.48	5,462.69	2,396.25	39,600	218.20	103.90%	
30	02-may-05	30-may-05	28	12.93	181.44	5,461.49	2,367.49	49,480	272.70	129.86%	313.10
31	02-may-05	30-may-05	28	12.95	181.44	5,461.43	2,371.18	64,140	353.50	168.33%	
32	02-may-05	30-may-05	28	12.76	176.68	5,318.21	2,399.30	52,440	296.80	141.33%	333.25
33	02-may-05	30-may-05	28	12.90	176.74	5,319.81	2,424.90	65,340	369.70	176.05%	
34	02-may-05	30-may-05	28	12.98	176.70	5,318.71	2,440.44	59,460	336.50	180.24%	333.65
35	02-may-05	30-may-05	28	13.23	176.72	5,319.30	2,487.17	58,530	331.20	157.71%	
36	02-may-05	30-may-05	28	12.88	176.72	5,319.20	2,421.42	61,480	347.90	165.67%	
37	02-may-05	30-may-05	28	13.11	176.74	5,319.77	2,464.39	59,030	334.00	159.05%	338.53
38	02-may-05	30-may-05	28	12.91	176.69	5,318.23	2,427.50	59,490	336.70	160.33%	
39	03-may-05	06-may-05	3	12.90	181.47	5,462.26	2,361.66	30,360	167.30	79.67%	184.65
40	03-may-05	06-may-05	3	13.22	181.49	5,462.70	2,420.05	36,660	202.00	96.19%	
41	03-may-05	10-may-05	7	12.88	181.44	5,461.21	2,358.45	37,920	209.00	99.52%	228.50
42	03-may-05	10-may-05	7	13.08	181.45	5,461.69	2,394.86	45,000	248.00	118.10%	
43	03-may-05	31-may-05	28	12.93	181.49	5,462.93	2,366.86	59,820	329.60	156.95%	370.45
44	03-may-05	31-may-05	28	13.06	181.45	5,461.62	2,391.23	74,930	411.30	195.86%	
45	03-may-05	31-may-05	28	12.96	181.46	5,461.99	2,372.76	73,510	405.10	192.90%	387.60
46	03-may-05	31-may-05	28	13.12	181.46	5,462.08	2,402.02	67,160	370.10	176.24%	



BANCO DE ARENA:  
RESISTENCIA DE DISEÑO:

ARENA JIBOA  
210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.23: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/mm <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>a</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
47	03-may-05	31-may-05	28	13.00	181.42	5,460.80	2,380.60	66,330	360.10	171.48%	380.50
48	03-may-05	31-may-05	28	13.28	176.69	5,318.45	2,496.97	74,370	420.90	200.43%	
49	03-may-05	31-may-05	28	12.97	181.45	5,461.51	2,374.80	74,810	412.30	186.33%	391.60
50	03-may-05	31-may-05	28	12.98	181.45	5,461.66	2,376.57	67,300	370.90	176.62%	
51	03-may-05	31-may-05	28	12.99	181.28	5,456.60	2,380.60	70,120	386.80	184.19%	375.55
52	03-may-05	31-may-05	28	12.87	181.44	5,461.46	2,356.51	66,100	364.30	173.48%	
53	07-may-05	10-may-05	3	13.16	181.47	5,462.28	2,409.25	26,150	144.10	68.62%	161.20
54	07-may-05	10-may-05	3	13.24	181.49	5,462.91	2,423.62	32,360	178.30	84.90%	
55	07-may-05	14-may-05	7	12.84	181.42	5,460.81	2,351.30	40,820	225.00	107.14%	219.50
56	07-may-05	14-may-05	7	12.91	181.50	5,463.01	2,363.17	38,840	214.00	101.90%	
57	07-may-05	04-jun-05	28	12.87	181.46	5,461.96	2,356.30	60,390	332.80	158.48%	351.45
58	07-may-05	04-jun-05	28	12.97	181.46	5,462.08	2,374.55	67,160	370.10	176.24%	
59	07-may-05	04-jun-05	28	13.01	181.44	5,461.41	2,382.17	61,400	338.40	161.14%	355.05
60	07-may-05	04-jun-05	28	12.96	181.46	5,462.05	2,372.73	67,450	371.70	177.00%	
61	07-may-05	04-jun-05	28	13.37	181.43	5,461.10	2,448.22	69,180	381.30	181.57%	380.25
62	07-may-05	04-jun-05	28	12.96	181.49	5,462.77	2,372.42	68,820	379.20	180.57%	
63	07-may-05	04-jun-05	28	12.97	181.48	5,462.66	2,374.30	62,140	342.40	163.05%	344.85
64	07-may-05	04-jun-05	28	12.94	181.43	5,460.99	2,369.53	63,010	347.30	165.38%	
65	07-may-05	04-jun-05	28	12.94	181.45	5,461.53	2,368.30	66,260	376.20	179.14%	353.50
66	07-may-05	04-jun-05	28	12.96	181.44	5,461.31	2,373.06	60,020	330.80	157.52%	

NOTAS:

FALLA TIPICA PARA TODOS LOS CILINDROS ES: CORTANTE  
ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA CONCRETERA SALVADOREÑA



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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.24: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA PLANTEL JIBOA

No. Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1 25/ABRIL/2005	28-abr-05	2324.47	4 1/2	3	138.60
	2-may-05	2324.47	4 1/2	7	219.30
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28	307.55
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28	323.85
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28	343.15
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28	332.93
2 28/ABRIL/2005	1-may-05	2348.94	3 1/4	3	172.35
	5-may-05	2348.94	3 1/4	7	246.55
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28	350.55
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28	323.20
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28	340.90
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28	364.95
3 02/MAYO/2005	5-may-05	2332.98	3 1/2	3	148.45
	9-may-05	2332.98	3 1/2	7	222.50
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28	313.10
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28	333.25
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28	333.85
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28	339.53
4 03/MAYO/2005	6-may-05	2346.81	3 1/4	3	184.65
	10-may-05	2346.81	3 1/4	7	228.50
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28	370.45
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28	387.60
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28	390.50
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28	391.80
5 07/MAYO/2005	31-may-05	2346.81	3 1/4	28	375.55
	10-may-05	2350.00	3 3/4	3	161.20
	14-may-05	2350.00	3 3/4	7	219.50
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28	351.45
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28	355.05
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28	380.25
4-jun-05	2350.00	3 3/4	28	344.85	
4-jun-05	2350.00	3 3/4	28	353.50	

GRAFICO 4.10  
RESISTENCIA DE CONCRETO ARENA PLANTEL JIBOA

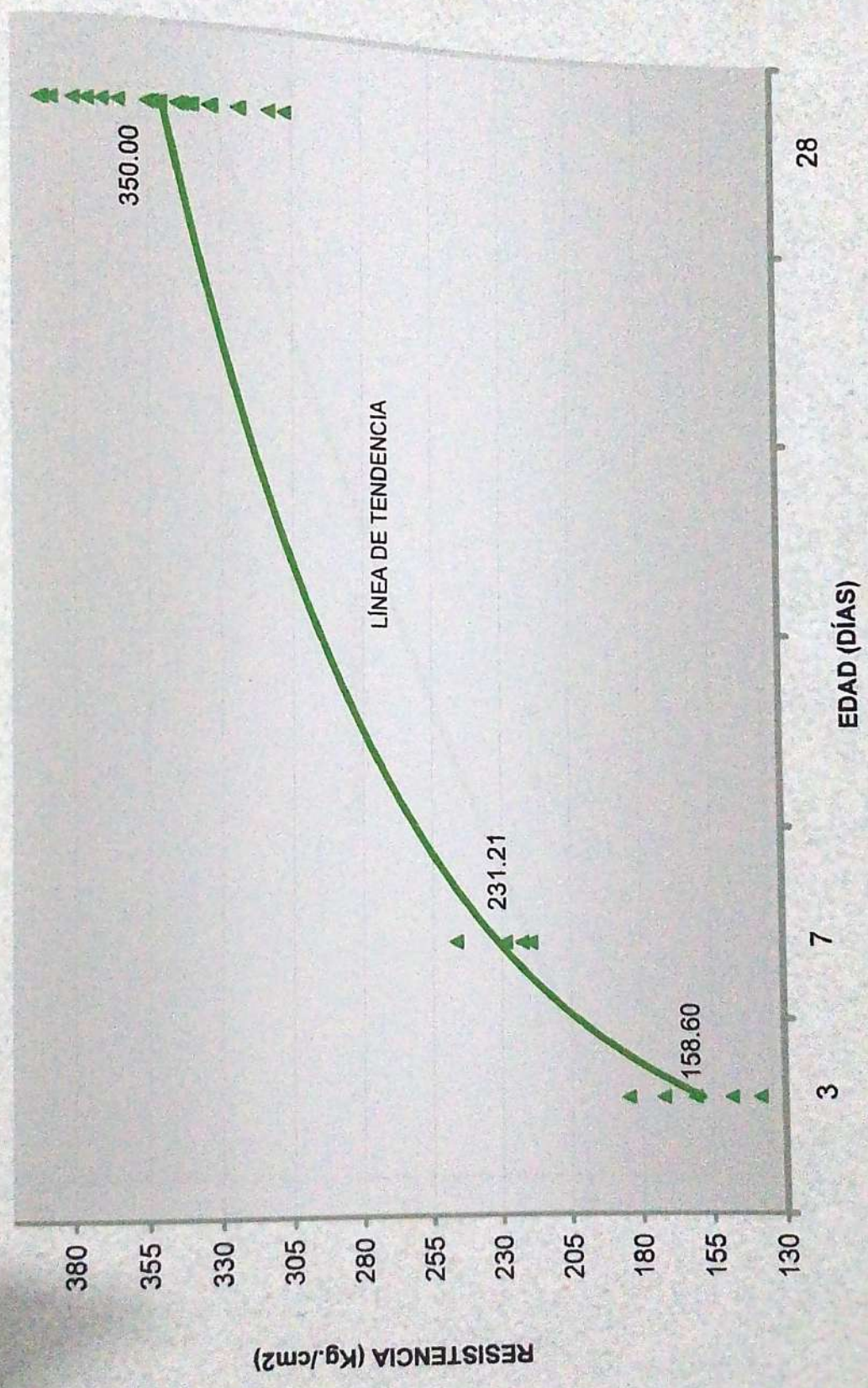


GRAFICO 4.11  
PESO VOLUMÉTRICO VRS RESISTENCIA A LA COMPRESION  
ARENA PLANTEL JIBOA

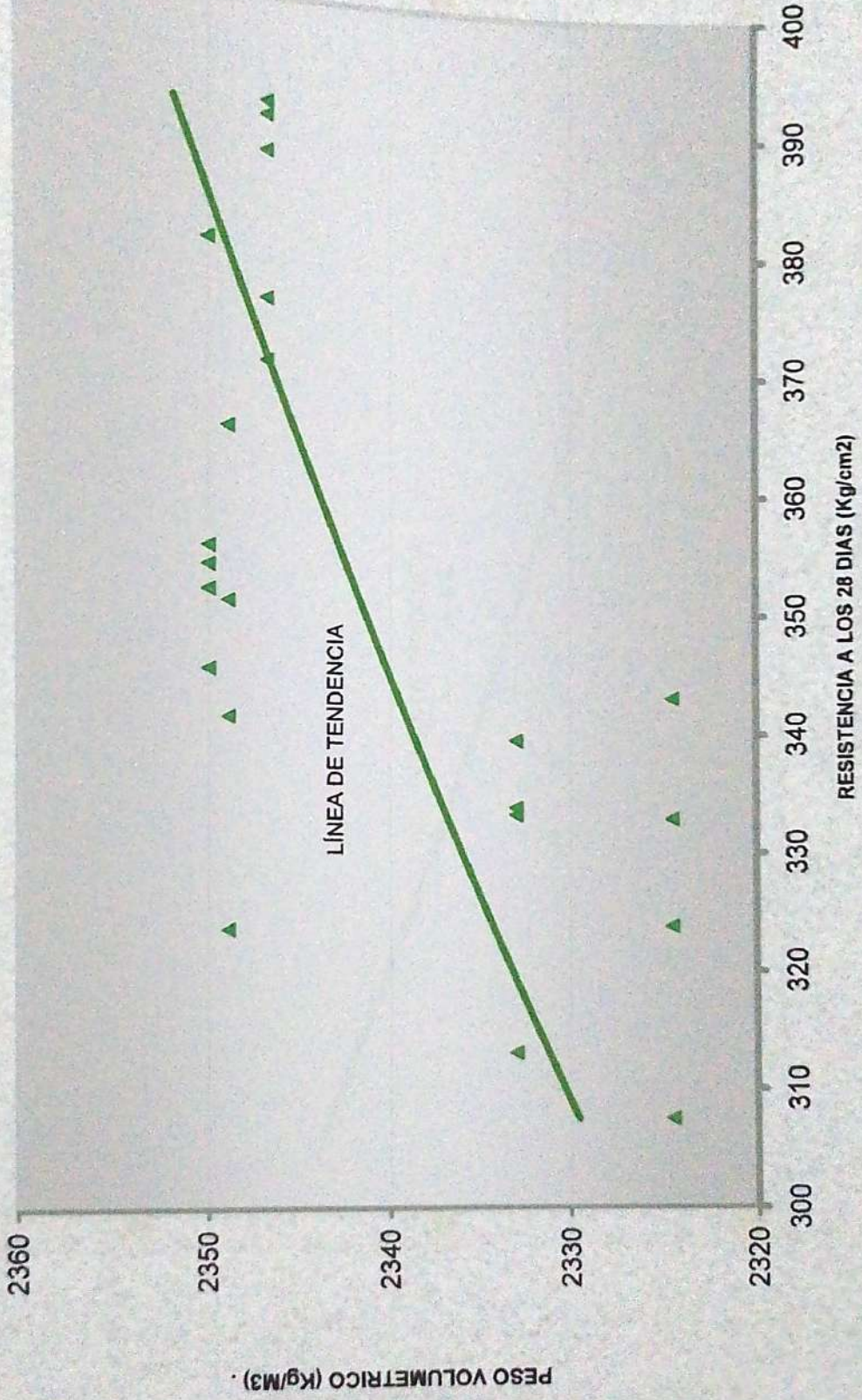
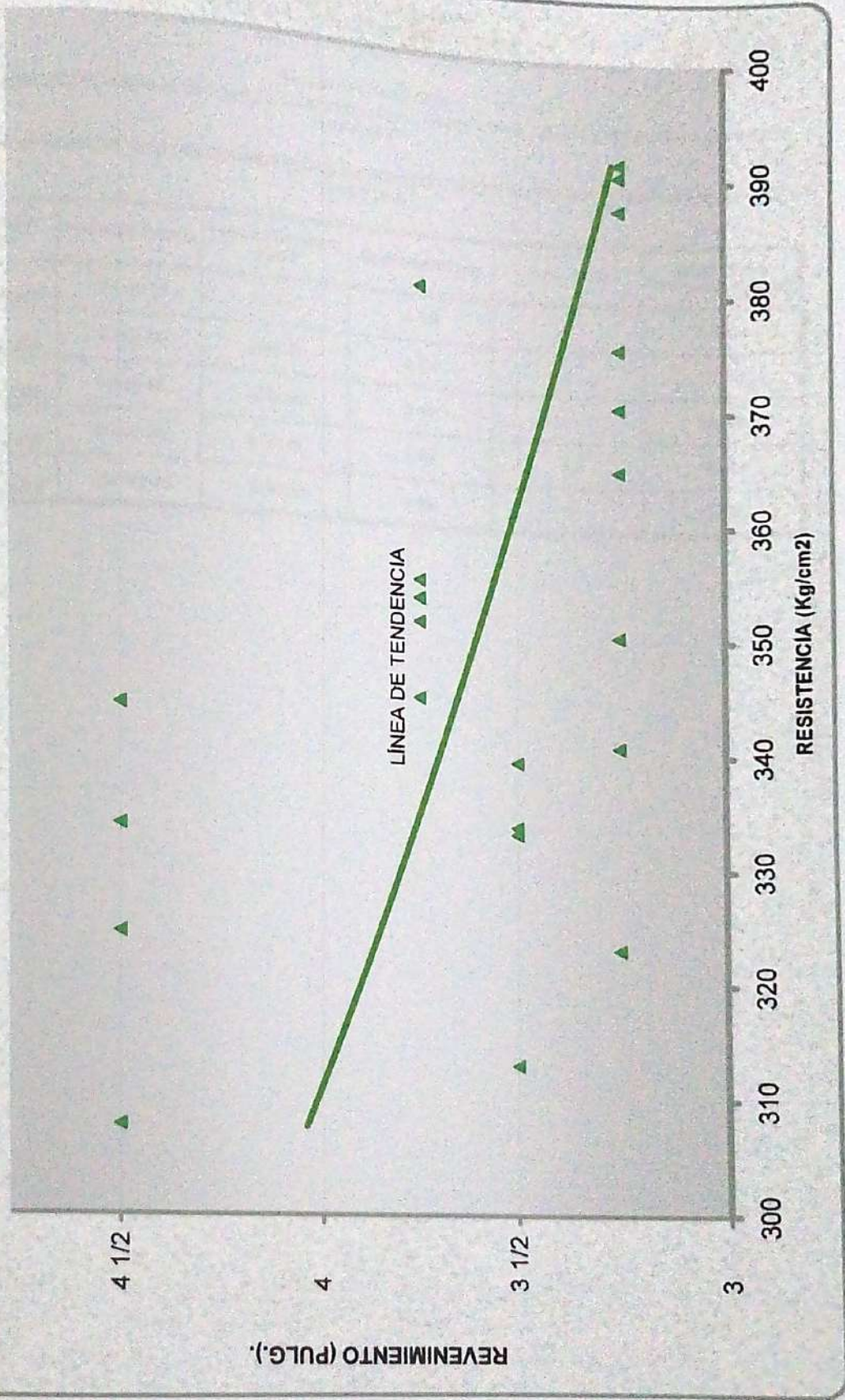


GRAFICO 4.12  
 REVENIMIENTO VRS RESISTENCIA A LA COMPRESION  
 ARENA PLANTEL JIBOA





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

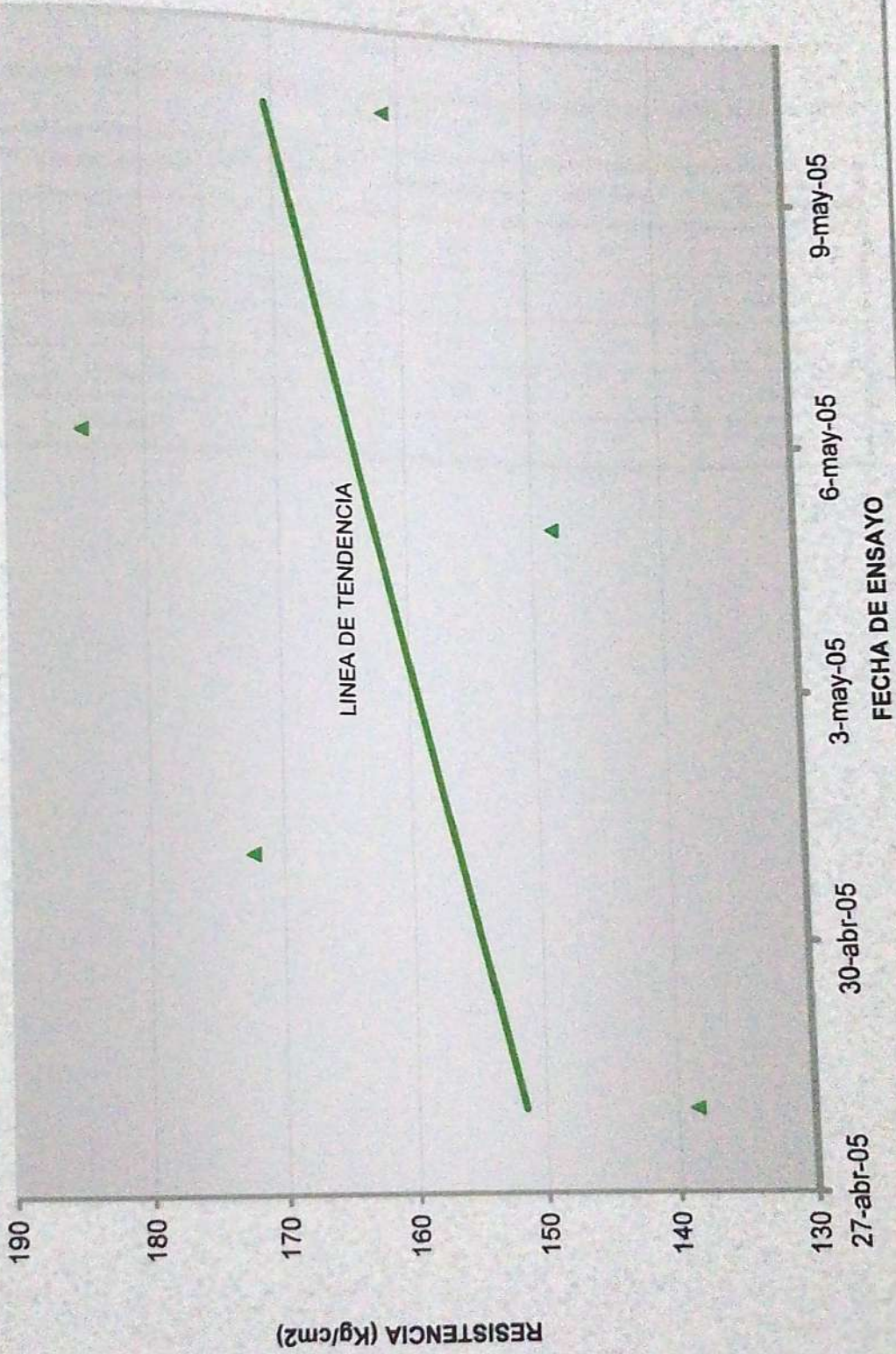


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.25: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA PLANTEL JIBOA  
EDAD 3 DIAS

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1 25/ABRIL/2005	28-abr-05	2324.47	4 1/2	3	138.60
2 28/ABRIL/2005	1-may-05	2348.94	3 1/4	3	172.35
3 02/MAYO/2005	5-may-05	2332.98	3 1/2	3	148.45
4 03/MAYO/2005	6-may-05	2348.81	3 1/4	3	184.65
5 07/MAYO/2005	10-may-05	2350.00	3 3/4	3	161.20

**GRAFICO 4.13**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA PLANTEL JIBOA**  
**EDAD DE 3 DIAS**





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

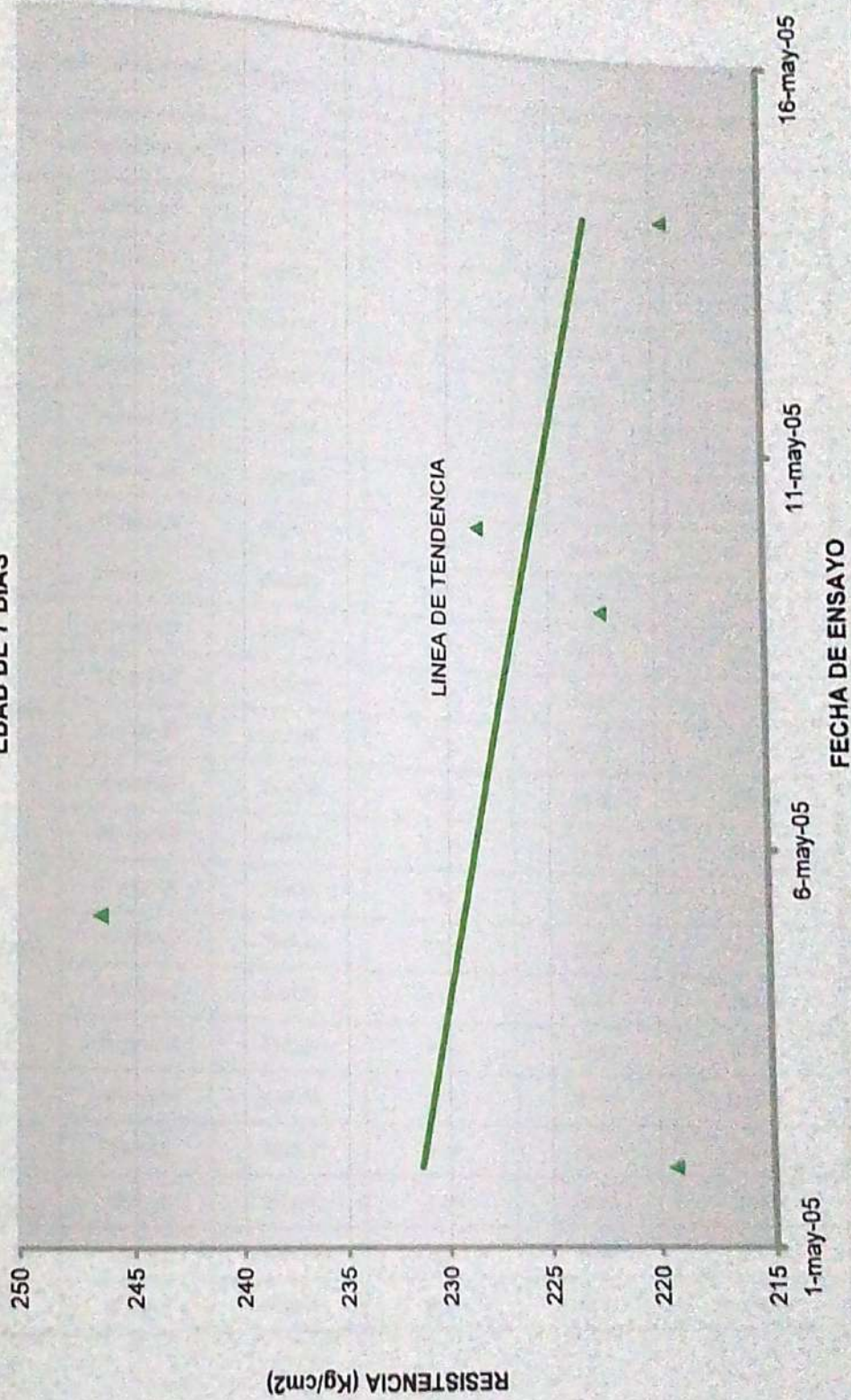


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.26: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA PLANTEL JIBOA  
EDAD 7 DIAS

No. Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 25/ABRIL/2005	2-may-05	2324.47	4 1/2	7	219.30
2 28/ABRIL/2005	5-may-05	2348.94	3 1/4	7	246.55
3 02/MAYO/2005	9-may-05	2332.98	3 1/2	7	222.50
4 03/MAYO/2005	10-may-05	2346.81	3 1/4	7	228.50
5 07/MAYO/2005	14-may-05	2350.00	3 3/4	7	219.50

**GRAFICO 4.14**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA PLANTEL JIBOA**  
**EDAD DE 7 DIAS**





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

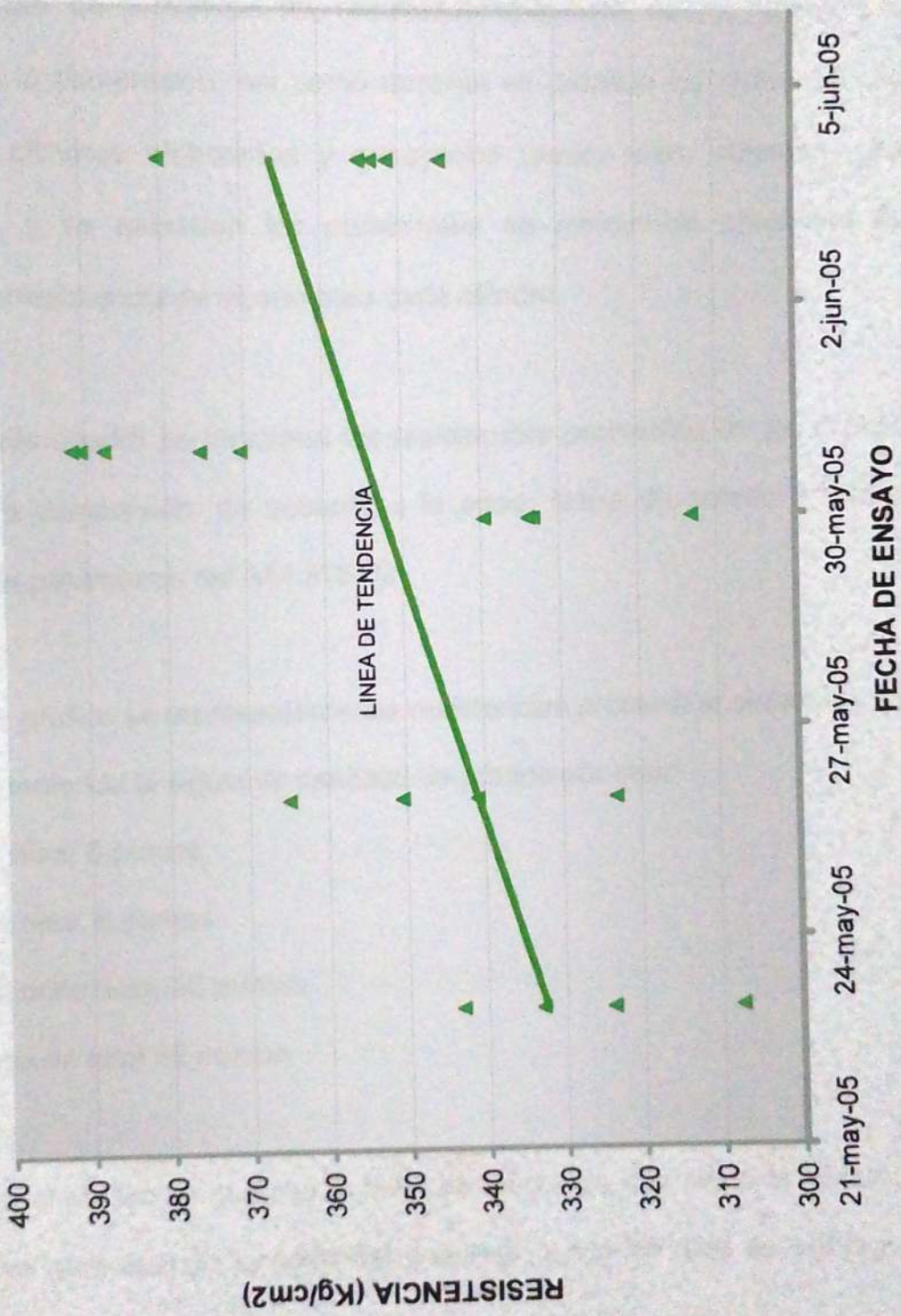


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.27: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA PLANTEL JIBOA  
EDAD 28 DIAS

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 25/ABRIL/2005	23-may-05	2324.47	4 1/2	28.00	307.55
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28.00	323.85
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28.00	343.15
	23-may-05	2324.47	4 1/2	28.00	332.93
2 28/ABRIL/2005	26-may-05	2348.94	3 1/4	28.00	350.55
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28.00	323.20
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28.00	340.90
	26-may-05	2348.94	3 1/4	28.00	364.95
3 02/MAYO/2005	30-may-05	2332.98	3 1/2	28.00	313.10
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28.00	333.25
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28.00	333.85
	30-may-05	2332.98	3 1/2	28.00	339.53
4 03/MAYO/2005	31-may-05	2346.81	3 1/4	28.00	370.45
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28.00	387.60
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28.00	390.50
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28.00	391.60
	31-may-05	2346.81	3 1/4	28.00	375.55
5 07/MAYO/2005	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28.00	351.45
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28.00	355.05
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28.00	380.25
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28.00	344.85
	4-jun-05	2350.00	3 3/4	28.00	353.50

**GRAFICO 4.15**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA PLANTEL JIBOA**  
**EDAD DE 28 DIAS**



#### **4.4.5. Ensayos de cilindros de concreto empleando arena del Banco Cangrejera.**

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión, así como también se detallan los datos de cada uno de los cilindros elaborados y ensayados (peso, área, volumen, peso volumétrico), y se muestran los porcentajes de resistencia obtenidos con respecto a la resistencia de diseño para cada cilindro.

En el segundo cuadro se muestran las resistencias promedios de los cilindros ensayados a compresión, de acuerdo a la edad, fecha de colado y ruptura, siguiendo los parámetros del ACI 318-02

En el primer grafico se representaron las resistencias promedios obtenidas para cada edad, teniendo la siguiente cantidad de puntos por edad:

- Tres días, 6 puntos
- Siete días, 6 puntos
- Veintiocho días, 20 puntos

Graficándose en total 32 puntos

Además, en el grafico se muestra la línea de tendencia que sigue la resistencia a medida va aumentando la edad del concreto, a los 28 días se obtuvo una resistencia de  $310.47 \text{ kg/cm}^2$ .

El segundo grafico muestra la relación del Peso Volumétrico del concreto con la Resistencia a la Compresión obtenida a los 28 días. Se graficaron los pesos volumétricos de cada mezcla realizada en función de las resistencias obtenidas, obteniéndose una relación directamente proporcional, es decir que a mayor peso volumétrico se tiene mayor resistencia a la compresión.

En el tercer grafico se representa la Variación de la Resistencia a la Compresión (a los 28 días) con el Revenimiento, mostrándose la línea de tendencia, la cual indica que a mayor resistencia el revenimiento disminuye y viceversa, Indicando una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros.

Por ultimo se muestran cuadros y gráficos de resistencia a la compresión para las edades de 3, 7 y 28 días. Donde se representa la variación de la resistencia a estas edades en función de la fecha de ruptura.

Los valores de las pendientes de las líneas de tendencia para las tres edades son similares, notándose que para los 3 y 28 días las líneas de tendencia tienen una pendiente positiva, en cambio a los siete días la pendiente se muestra negativa.



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



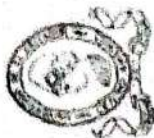
TRABAJO DE GRADUACIÓN:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACIÓN COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO"

BANCO DE ARENA:  
ARENAS CANGREJERA  
210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.28: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>•</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	11-abr-05	14-abr-05	3	12.49	181.47	5,462.31	2,286.58	21,450	118.20	56.29%	117.75
2	11-abr-05	14-abr-05	3	12.61	181.50	5,463.16	2,308.19	21,290	117.30	55.86%	
3	11-abr-05	18-abr-05	7	12.83	181.44	5,461.41	2,349.21	37,740	208.00	99.05%	195.60
4	11-abr-05	18-abr-05	7	12.47	181.44	5,461.38	2,293.31	33,240	163.20	87.24%	
5	11-abr-05	09-may-05	28	12.49	181.45	5,461.62	2,286.87	56,340	310.50	147.86%	303.95
6	11-abr-05	09-may-05	28	12.48	181.44	5,461.32	2,285.16	53,960	297.40	141.62%	
7	11-abr-05	09-may-05	28	12.64	181.46	5,462.09	2,314.13	56,000	308.60	146.95%	297.95
8	11-abr-05	09-may-05	28	12.43	181.48	5,462.63	2,275.46	52,140	287.30	136.81%	
9	11-abr-05	09-may-05	28	12.47	181.45	5,461.69	2,283.18	55,760	307.30	146.33%	299.35
10	11-abr-05	09-may-05	28	12.45	181.43	5,461.18	2,279.73	52,870	291.40	138.76%	
11	11-abr-05	09-may-05	28	12.78	181.47	5,462.11	2,339.75	50,520	278.40	132.57%	288.25
12	11-abr-05	09-may-05	28	12.62	181.48	5,462.63	2,310.24	54,100	298.10	141.95%	
13	12-abr-05	15-abr-05	3	12.39	181.50	5,463.07	2,267.95	25,210	138.90	66.14%	147.20
14	12-abr-05	15-abr-05	3	12.64	181.48	5,462.52	2,313.95	28,220	155.50	74.05%	
15	12-abr-05	19-abr-05	7	12.70	181.44	5,461.46	2,325.39	37,720	207.90	99.00%	216.85
16	12-abr-05	19-abr-05	7	12.57	181.46	5,462.07	2,301.32	40,970	225.80	107.52%	
17	12-abr-05	10-may-05	28	12.63	181.44	5,461.42	2,312.58	56,250	321.00	152.86%	317.85
18	12-abr-05	10-may-05	28	12.60	181.46	5,461.98	2,306.85	56,380	310.70	149.86%	305.30
19	12-abr-05	10-may-05	28	12.44	181.48	5,462.96	2,277.15	54,430	299.90	147.95%	
20	12-abr-05	10-may-05	28	12.44	181.46	5,461.99	2,277.56	54,130	298.30	142.05%	306.10
21	12-abr-05	10-may-05	28	12.42	181.43	5,460.96	2,274.33	56,950	313.90	149.48%	
22	12-abr-05	10-may-05	28	12.42	181.43	5,460.96	2,274.33	56,950	313.90	149.48%	



BANCO DE ARENA:  
ARENA CANGREJERA  
RESISTENCIA DE DISEÑO: 210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.28: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>c</sup>	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
23	12-abr-05	10-may-05	28	12.47	181.44	5,461.23	2,283.37	53,560	295.20	140.57%	314.27
24	12-abr-05	10-may-05	28	12.39	181.43	5,460.97	2,268.83	58,710	323.60	154.10%	
25	12-abr-05	10-may-05	28	12.36	181.42	5,460.73	2,263.43	58,780	324.00	154.23%	
26	14-abr-05	17-abr-05	3	12.72	181.40	5,460.29	2,329.55	26,340	145.20	69.14%	144.65
27	14-abr-05	17-abr-05	3	12.81	181.40	5,460.19	2,346.07	26,140	144.10	68.62%	
28	14-abr-05	21-abr-05	7	12.42	181.45	5,461.77	2,273.99	34,440	189.80	90.38%	183.65
29	14-abr-05	21-abr-05	7	12.36	181.46	5,462.09	2,262.87	32,210	177.50	84.52%	
30	14-abr-05	12-may-05	28	12.58	181.44	5,461.28	2,303.49	60,310	332.40	158.29%	315.15
31	14-abr-05	12-may-05	28	12.52	181.47	5,462.26	2,292.09	54,060	297.90	141.86%	
32	14-abr-05	12-may-05	28	12.83	181.48	5,462.46	2,348.76	59,470	327.70	156.05%	318.00
33	14-abr-05	12-may-05	28	12.45	181.48	5,462.52	2,279.17	55,950	308.30	146.81%	
34	14-abr-05	12-may-05	28	12.52	181.50	5,463.02	2,291.77	57,280	315.60	150.29%	310.05
35	14-abr-05	12-may-05	28	12.63	181.44	5,461.49	2,312.55	55,250	304.50	145.00%	
36	14-abr-05	12-may-05	28	12.68	181.47	5,462.24	2,321.39	57,780	318.40	151.62%	313.67
37	14-abr-05	12-may-05	28	12.50	181.44	5,461.36	2,288.81	54,160	298.50	142.14%	
38	14-abr-05	12-may-05	28	12.55	181.46	5,461.84	2,287.76	58,810	324.10	154.33%	138.50
39	18-abr-05	21-abr-05	3	12.57	181.44	5,461.28	2,301.66	24,730	136.30	64.90%	
40	18-abr-05	21-abr-05	3	12.56	181.45	5,461.64	2,299.67	25,530	140.70	67.00%	192.55
41	18-abr-05	25-abr-05	7	12.59	181.48	5,462.59	2,304.77	31,850	175.50	83.57%	
42	18-abr-05	25-abr-05	7	12.57	181.51	5,463.34	2,300.79	38,080	209.80	98.90%	343.85
43	18-abr-05	16-may-05	28	12.77	181.44	5,461.25	2,338.29	60,110	331.30	157.76%	
44	18-abr-05	16-may-05	28	12.64	181.43	5,460.90	2,314.84	64,660	356.40	169.71%	



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACIÓN COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO"

BANCO DE ARENA: ARENA CANGREJERA  
RESISTENCIA DE DISEÑO: 210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.28: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO ( Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kg/fcm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>^</sup> c	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/fcm <sup>2</sup> )
45	18-abr-05	16-may-05	28	12.60	181.45	5,461.77	2,306.94	59,650	312.20	148.67%	326.07
46	18-abr-05	16-may-05	28	12.51	181.44	5,461.37	2,290.63	61,200	337.30	160.62%	
47	18-abr-05	16-may-05	28	12.62	181.47	5,462.32	2,310.37	59,650	328.70	156.52%	
48	23-abr-05	26-abr-05	3	12.56	181.42	5,460.70	2,300.07	28,900	159.30	75.86%	155.50
49	23-abr-05	26-abr-05	3	12.46	181.41	5,460.46	2,291.86	27,520	151.70	72.24%	
50	23-abr-05	30-abr-05	7	12.48	181.48	5,462.59	2,294.63	35,280	194.40	92.57%	194.60
51	23-abr-05	30-abr-05	7	12.45	181.42	5,460.65	2,279.95	35,340	194.80	92.76%	
52	23-abr-05	21-may-05	28	12.65	181.46	5,462.04	2,315.98	55,310	304.80	145.14%	320.65
53	23-abr-05	21-may-05	28	12.84	181.46	5,461.83	2,350.86	61,060	336.50	180.24%	
54	23-abr-05	21-may-05	28	12.63	181.46	5,462.07	2,312.31	61,970	341.50	162.62%	325.25
55	23-abr-05	21-may-05	28	12.46	181.49	5,462.81	2,280.88	56,080	309.00	147.14%	
56	23-abr-05	21-may-05	28	12.48	181.49	5,463.00	2,284.46	55,120	303.70	144.62%	300.97
57	23-abr-05	21-may-05	28	12.59	181.47	5,462.17	2,304.95	52,190	287.60	136.95%	
58	23-abr-05	21-may-05	28	12.50	181.48	5,462.63	2,288.29	56,550	311.60	148.38%	126.70
59	23-abr-05	26-abr-05	3	12.77	181.50	5,463.22	2,337.45	22,470	123.80	58.95%	
60	23-abr-05	26-abr-05	3	12.71	181.40	5,460.27	2,327.72	23,510	129.60	61.71%	195.70
61	23-abr-05	30-abr-05	7	12.89	181.50	5,463.20	2,359.42	36,500	201.10	95.76%	
62	23-abr-05	30-abr-05	7	12.53	181.40	5,460.07	2,294.84	34,520	190.30	90.62%	293.25
63	23-abr-05	21-may-05	28	12.45	181.43	5,461.00	2,279.80	50,800	280.00	133.33%	
64	23-abr-05	21-may-05	28	12.81	181.47	5,462.19	2,345.21	55,620	306.50	145.95%	



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACIÓN COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO"

BANCO DE ARENA: ARENA CANGREJERA  
 RESISTENCIA DE DISEÑO: 210 Kg/cm<sup>2</sup>

TABLA 4.28: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO (ASTM C-39)

No. DE CILINDRO	FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DIAS)	PESO (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	% DE F <sup>c</sup>	RESISTENCIA PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
65	23-abr-05	21-may-05	28	12.71	181.47	5,462.38	2,326.83	56,620	312.00	148.57%	322.80
66	23-abr-05	21-may-05	28	12.78	181.47	5,462.39	2,339.63	60,540	333.60	158.86%	
67	23-abr-05	21-may-05	28	12.47	181.47	5,462.18	2,292.97	53,660	295.70	140.81%	
68	23-abr-05	21-may-05	28	12.69	181.44	5,461.28	2,323.63	55,520	306.00	145.71%	
69	23-abr-05	21-may-05	28	12.45	181.47	5,462.10	2,279.34	53,260	293.50	139.76%	

NOTAS:

FALLA TÍPICA PARA TODOS LOS CILINDROS ES: CORTANTE  
 ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA CONCRETERA SALVADOREÑA



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



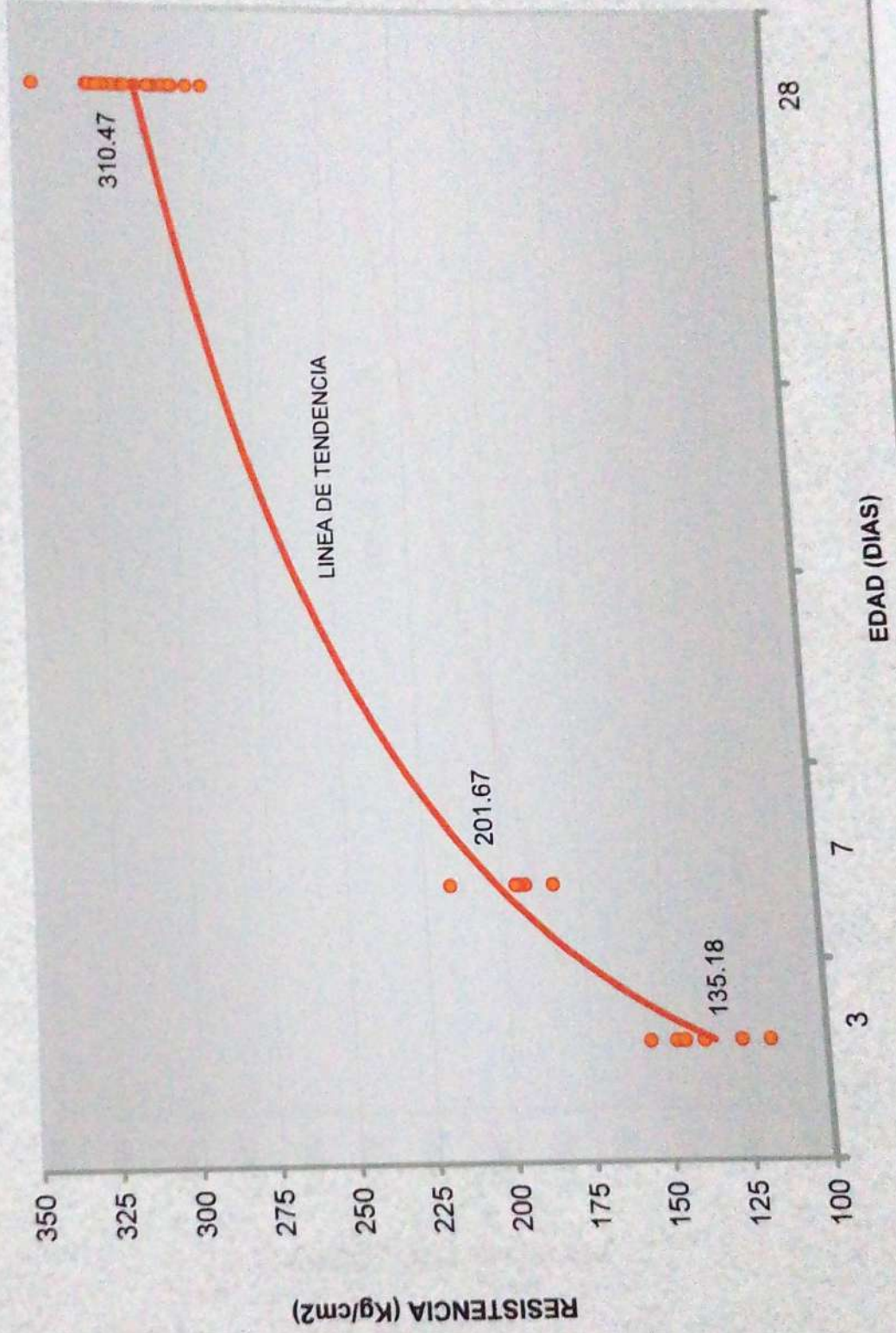
TRABAJO DE GRADUACION:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 4.29: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA BANCO CANGREJERA

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1 11/ABRIL/2005	14-abr-05	2268.09	3 1/2	3	117.75
	18-abr-05	2268.09	3 1/2	7	195.60
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	303.95
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	297.95
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	299.35
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	288.25
2 12/ABRIL/2005	15-abr-05	2253.19	3 1/4	3	147.20
	19-abr-05	2253.19	3 1/4	7	216.85
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	317.85
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	305.30
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	306.10
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	314.27
3 14/ABRIL/2005	17-abr-05	2261.70	3 3/4	3	144.65
	21-abr-05	2261.70	3 3/4	7	183.65
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	315.15
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	318.00
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	310.05
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	313.67
4 18/ABRIL/2005	21-abr-05	2290.43	3 1/2	3	138.50
	25-abr-05	2290.43	3 1/2	7	192.65
	16-may-05	2290.43	3 1/2	28	343.85
	16-may-05	2290.43	3 1/2	28	326.07
5 23/ABRIL/2005	26-abr-05	2268.09	3 1/4	3	155.50
	30-abr-05	2268.09	3 1/4	7	194.80
	21-may-05	2268.09	3 1/4	28	320.65
	21-may-05	2268.09	3 1/4	28	325.25
	21-may-05	2268.09	3 1/4	28	300.97
6 23/ABRIL/005	26-abr-05	2267.02	4 1/2	3	126.70
	30-abr-05	2267.02	4 1/2	7	195.70
	21-may-05	2267.02	4 1/2	28	293.25
	21-may-05	2267.02	4 1/2	28	322.80
	21-may-05	2267.02	4 1/2	28	298.40

GRAFICO 4.16  
RESISTENCIA DE CONCRETO ARENA BANCO CANGREJERA





**GRAFICO 4.18**  
**REVENIMIENTO VRS RESISTENCIA A LA COMPRESION**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**





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

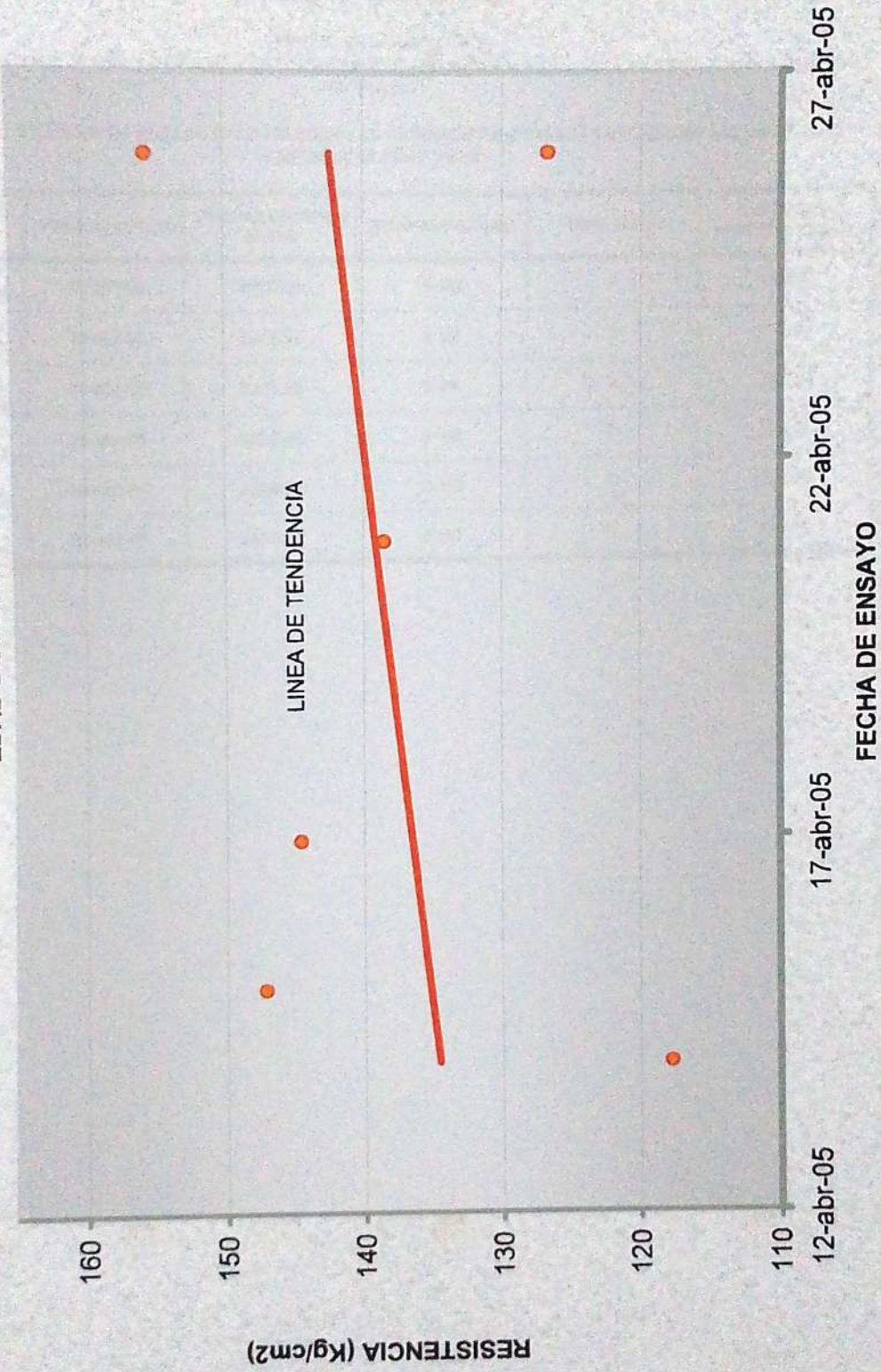


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.30: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA  
BANCO CANGREJERA  
EDAD 3 DIAS

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M <sup>3</sup> )	REVENIMIENTO (pig)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1 11/ABRIL/2005	14-abr-05	2268.09	3 1/2	3	117.75
2 12/ABRIL/2005	15-abr-05	2253.19	3 1/4	3	147.20
3 14/ABRIL/2005	17-abr-05	2261.70	3 3/4	3	144.65
4 18/ABRIL/2005	21-abr-05	2290.43	3 1/2	3	138.50
5 23/ABRIL/2005	26-abr-05	2268.09	3 1/4	3	155.50
6 23/ABRIL/005	26-abr-05	2267.02	4 1/2	3	126.70

**GRAFICO 4.19**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**  
**EDAD DE 3 DIAS**





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



TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.31: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA BANCO  
CANGREJERA EDAD 7 DIAS

No. Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 11/ABRIL/2005	18-abr-05	2268.09	3 1/2	7	195.60
2 12/ABRIL/2005	19-abr-05	2253.19	3 1/4	7	216.85
3 14/ABRIL/2005	21-abr-05	2261.70	3 3/4	7	183.65
4 18/ABRIL/2005	25-abr-05	2290.43	3 1/2	7	192.65
5 23/ABRIL/2005	30-abr-05	2268.09	3 1/4	7	194.60
6 23/ABRIL/005	30-abr-05	2267.02	4 1/2	7	195.70

**GRAFICO 4.20**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**  
**EDAD DE 7 DIAS**





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

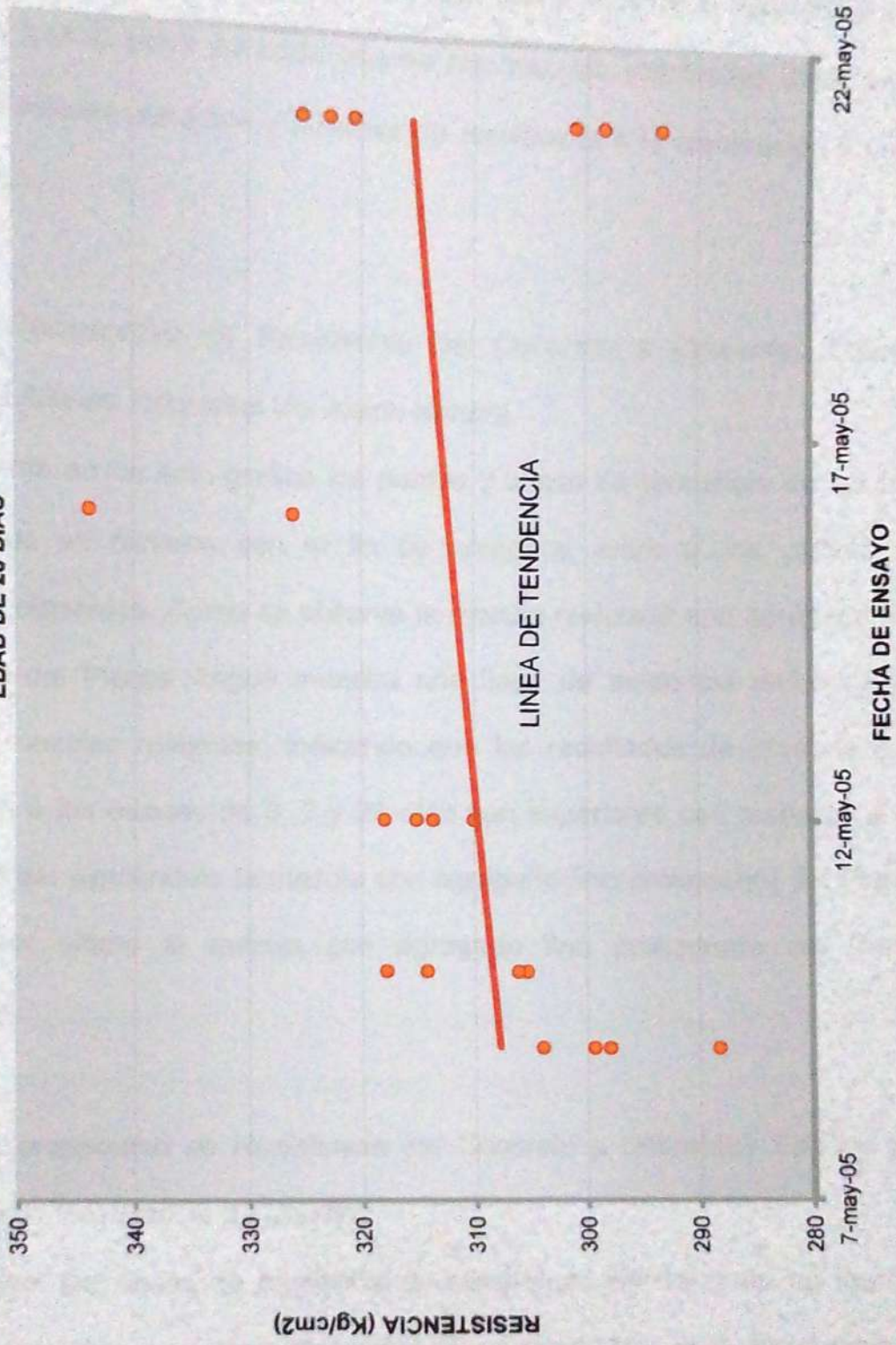


TRABAJO DE GRADUACION:  
"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO  
HIDRAULICO"

TABLA 4.32: RESUMEN DE RESISTENCIAS PROMEDIO DE CILINDROS DE CONCRETO UTILIZANDO ARENA BANCO  
CANGREJERA EDAD 28 DIAS

No.Y FECHA DE COLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO VOLUMETRICO (Kg/M3)	REVENIMIENTO (plg)	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)
1 11/ABRIL/2005	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	303.05
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	297.05
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	290.35
	9-may-05	2268.09	3 1/2	28	288.25
2 12/ABRIL/2005	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	317.85
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	305.30
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	306.10
	10-may-05	2253.19	3 1/4	28	314.27
3 14/ABRIL/2005	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	315.15
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	318.00
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	310.05
	12-may-05	2261.70	3 3/4	28	313.67
4 18/ABRIL/2005	16-may-05	2290.43	3 1/2	28	343.85
	16-may-05	2290.43	3 1/2	28	326.07
5 23/ABRIL/2005	21-may-05	2268.09	3 1/4	28	320.65
	21-may-05	2268.09	3 1/4	28	325.25
	21-may-05	2268.09	3 1/4	28	300.97
6 23/ABRIL/005	21-may-05	2267.02	4 1/2	28	293.25
	21-may-05	2267.02	4 1/2	28	322.80
	21-may-05	2267.02	4 1/2	28	298.40

**GRAFICO 4.21**  
**VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA FECHA DE ENSAYO**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**  
**EDAD DE 28 DIAS**



#### 4.4.6. Gráficos comparativos entre las tres arenas en estudio.

Se presenta cuatro gráficos que muestran las tendencias de la resistencia a la compresión con la edad de cada una de las mezclas elaboradas, Cuadros y gráficos de valores máximos y mínimos de resistencia a la compresión y peso volumétrico.

*- Grafico Comparativo de Resistencia del Concreto a Diferentes Edades Empleando Arenas Trituradas Vrs Arena Natural.*

Se representa en un solo grafico los puntos y líneas de tendencia de las tres mezclas que se hicieron con el fin de comparar entre si los valores de resistencia obtenidos. Como se observa la mezcla realizada con agregado fino procedente del Plantel Angue muestra una línea de tendencia arriba de las otras dos mezclas restantes, indicando que los resultados de pruebas a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días son superiores con respecto a las otras mezclas, siguiéndole la mezcla con agregado fino procedente del Plantel Jiboa y por ultimo la mezcla con agregado fino procedente del Banco Cangrejera.

*- Grafico Comparativo de Resistencia del Concreto a Diferentes Edades con Respecto a la Resistencia de Diseño.*

Se graficaron las líneas de tendencia de resistencia del concreto de las tres mezclas realizadas y la línea de tendencia esperada según la resistencia de

diseño ( $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días), observándose que las tres mezclas cumplen con los requerimientos de aceptación del concreto establecidos en el apartado 5.6.2.3 del ACI 318-02. Además el grafico muestra en que punto cada línea de tendencia ha llegado a la resistencia de diseño:

- Mezcla con arena Plantel Angue: entre los 2 y 3 días
- Mezcla con Arena Plantel Jiboa: entre los 5 y 6 días
- Mezcla con arena Banco Cangrejera: entre los 7 y 8 días, aproximadamente.

En el mismo grafico se muestra la variación ( $\Delta$ ) de resistencia a los 28 días de cada una de las mezclas con respecto a la resistencia de diseño.

*- Grafico de Desarrollo de Resistencia a la Compresión en Función del Tiempo.*

Se ha graficado la tendencia de la resistencia de cada una de las mezclas en función de la edad. Observándose que la mezcla con arena del Plantel Angue muestra un incremento considerable de resistencia a las edades de 3 y 7 días con respecto a las mezclas con arena del Plantel Jiboa y Banco Cangrejera, las cuales muestran un comportamiento similar entre si.

Todas las mezclas realizadas muestran un desarrollo de resistencia<sup>40</sup> arriba del esperado según la practica para un concreto de  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , para las edades de 3, 7 y 28 días.

- *Gráfico Comparativo de Resistencia Arenas Trituradas Vrs Arena Natural.*

En el cual se ha tomado como base la resistencia a los 28 días de la arena natural, graficándose las tres líneas de tendencia.

Se observa que las arenas trituradas para el mismo diseño de mezclas han obtenido resistencias a la compresión mayores a los 28 días con respecto a la arena natural, siendo superior la mezcla con arena Plantel Angue.

En el grafico se observan los puntos donde las arenas trituradas adquieren la resistencia a los 28 días de la arena natural siendo:

- Mezcla Arena Plantel Angue: entre 14 y 15 días
- Mezcla Arena Plantel Jiboa: entre 20 y 21 días

Además se muestra la variación ( $\Delta$ ) de resistencia a compresión adquirida a los 28 días de las arenas trituradas con respecto a la arena natural.

---

<sup>40</sup> El porcentaje de incremento de resistencia con la edad para cada una de las mezclas se determino en base a la resistencia a la compresión a los 28 días de cada una de ellas, considerando que a esa edad el concreto ha adquirido el 100% de su resistencia.

*- Cuadro y Gráficos de Valores Máximos y Mínimos de Resistencia a la Compresión y Peso Volumétrico.*

Se muestran cuadros para cada una de las mezclas, donde se detallan los valores máximos y mínimos de resistencia obtenidos en base a las pruebas a la compresión realizadas a las edades 3, 7 y 28 días, y los valores máximos y mínimos de los Pesos Volumétricos obtenidos.

Estos valores se muestran gráficamente para cada mezcla, donde se ha trazado el rango de variación de de los valores de resistencia a la compresión obtenidos.

A continuación se muestra el Grafico de Valores de Resistencia Máximos y Mínimos, donde se han trazado los rangos de variación de resistencia de las tres mezclas. Haciéndose notar que para la mezcla con arena Plantel Jiboa el rango de variación de resistencia a los 28 días es mayor que las mezclas con arena Plantel Angue y Banco Cangrejera, abarcando parte de los rangos de estas dos.

Los rangos de variación de resistencia, de las mezclas con arena Banco Cangrejera y Plantel Angue no se tocan entre si, excepto en el limite a los 28 días.

La mezcla con arena del Plantel Angue muestra un rango de variación de resistencia mayor a la edad de tres días con respecto a las otras dos mezclas.

En general se puede mencionar que las mezclas realizadas con la arena del Banco Cangrejera presentan un menor rango de variación de resistencia con la edad, lo que se traduce en una mayor uniformidad en los valores de resistencia obtenidos.

El último grafico muestra la variación del peso volumétrico para cada una de las mezclas, siendo más pequeño el rango de variación de arena Plantel Angue que representa un peso volumétrico mas uniforme en las mezclas. Los rangos de variación de las mezclas de Banco Cangrejera y Plantel Jiboa resultan iguales, como se muestra en el grafico.



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



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACIÓN COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO"

TABLA 4.33: RESISTENCIAS A LA COMPRESION PARA CONCRETOS ELABORADOS ARENA PLANTEL ANGUE, PLANTEL JIBOA Y BANCO CANGREJERA

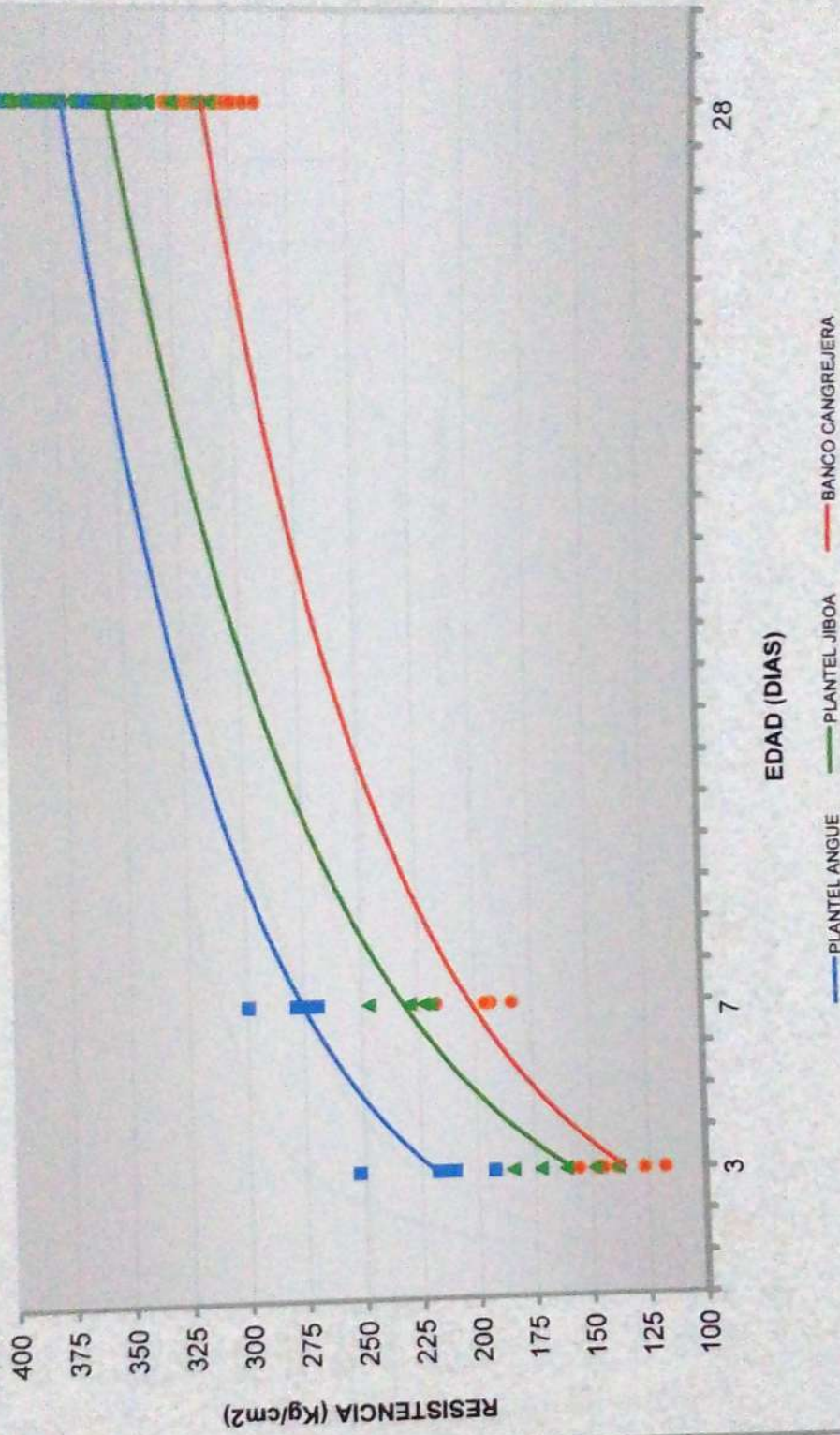
EDAD	BANCO CANGREJERA (KG/CM <sup>2</sup> )	PLANTEL ANGUE (KG/CM <sup>2</sup> )	PLANTEL JIBOA (KG/CM <sup>2</sup> )
3	135.18	218.38	158.80
7	201.67	275.48	231.21
28	310.47	388.91	360.01

Estos valores han sido tomados de las líneas de tendencia de los gráficos de resistencia de cada una de las mezclas, para las edades de 3, 7 y 28 días

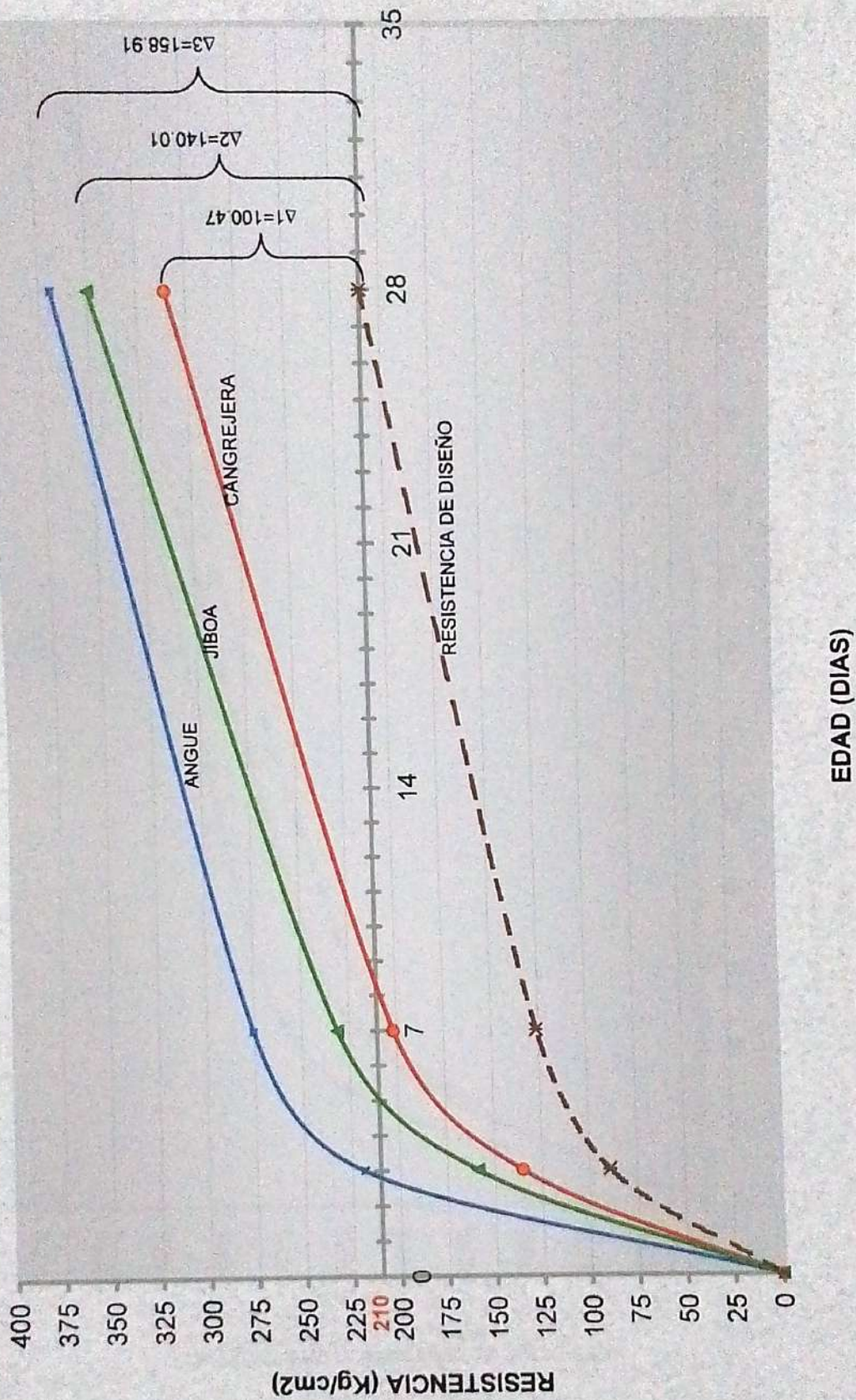
TABLA 4.34: PORCENTAJES DE DESARROLLO DE RESISTENCIA CON LA EDAD PARA CADA MEZCLA EN BASE A LA RESISTENCIA PROMEDIO A LOS 28 DIAS

EDAD	BANCO CANGREJERA	PLANTEL ANGUE	PLANTEL JIBOA
3	43.54%	58.20%	45.31%
7	64.96%	74.87%	66.08%
28	100.00%	100.00%	100.00%

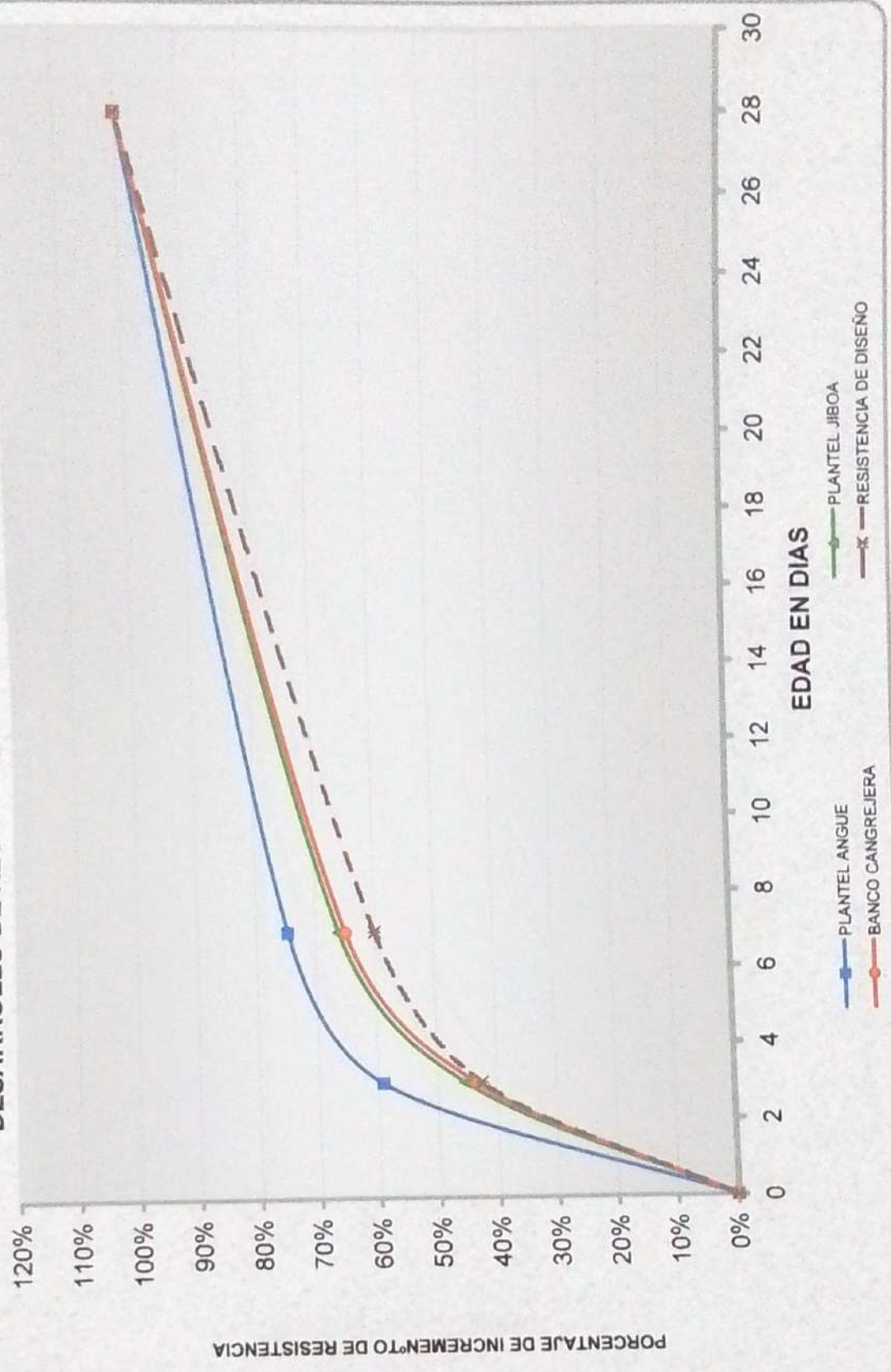
**GRAFICO 4.22**  
**COMPARACION DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A DIFERENTES EDADES**  
**EMPLEANDO ARENAS TRITURADAS VRS ARENA NATURAL**



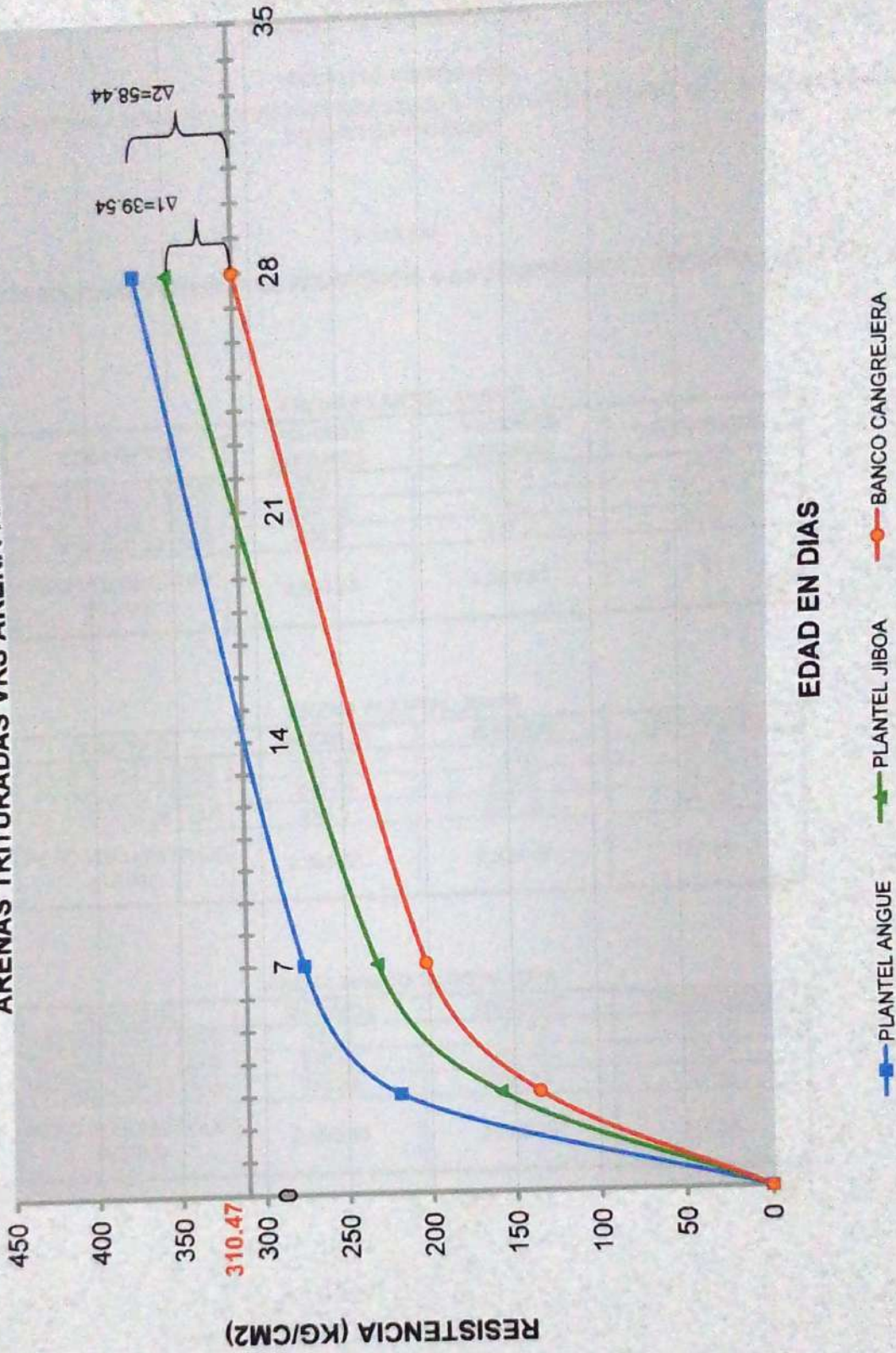
**GRAFICO 4.23**  
**COMPARACION DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A DIFERENTES EDADES**  
**CON RESPECTO A LA RESISTENCIA DE DISEÑO**



**GRAFICO 4.24**  
**DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION DEL TIEMPO**



**GRAFICO 4.25**  
**COMPARACION DE RESISTENCIAS**  
**ARENAS TRITURADAS VRS ARENA NATURAL**



**EDAD EN DIAS**

- PLANTELES ANGUE
- ▲ PLANTEL JIBOA
- BANCO CANGREJERA



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



TRABAJO DE GRADUACION:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 4.35

VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Y PESO VOLUMETRICO

ARENA PLANTEL ANGUE

CONCEPTO	VALORES MAXIMOS	VALORES MINIMOS	DIFERENCIA
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 3 DIAS	252.1	192.6	59.5
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 7 DIAS	299.45	269	30.45
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 28 DIAS	400.8	337.9	62.9
PESO VOLUMETRICO (KG/M <sup>3</sup> )	2,383.83	2,355.32	8.51

ARENA PLANTEL JIBOA

CONCEPTO	MAXIMOS	MINIMOS	DIFERENCIA
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 3 DIAS	184.65	138.6	46.05
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 7 DIAS	246.55	219.5	27.05
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 28 DIAS	391.6	307.55	84.05
PESO VOLUMETRICO (KG/M <sup>3</sup> )	2,346.81	2,324.47	22.34

ARENA BANCO CANGREJERA

CONCEPTO	MAXIMOS	MINIMOS	DIFERENCIA
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 3 DIAS	155.5	117.75	37.75
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 7 DIAS	216.85	183.65	33.2
F'c (KG/cm <sup>2</sup> ) 28 DIAS	343.85	288.25	55.6
PESO VOLUMETRICO (KG/M <sup>3</sup> )	2,290.43	2,268.09	22.34

**GRAFICO 4.26**  
**VALORES DE RESISTENCIA MAXIMOS Y MINIMOS**  
**ARENA PLANTEL ANGUE**

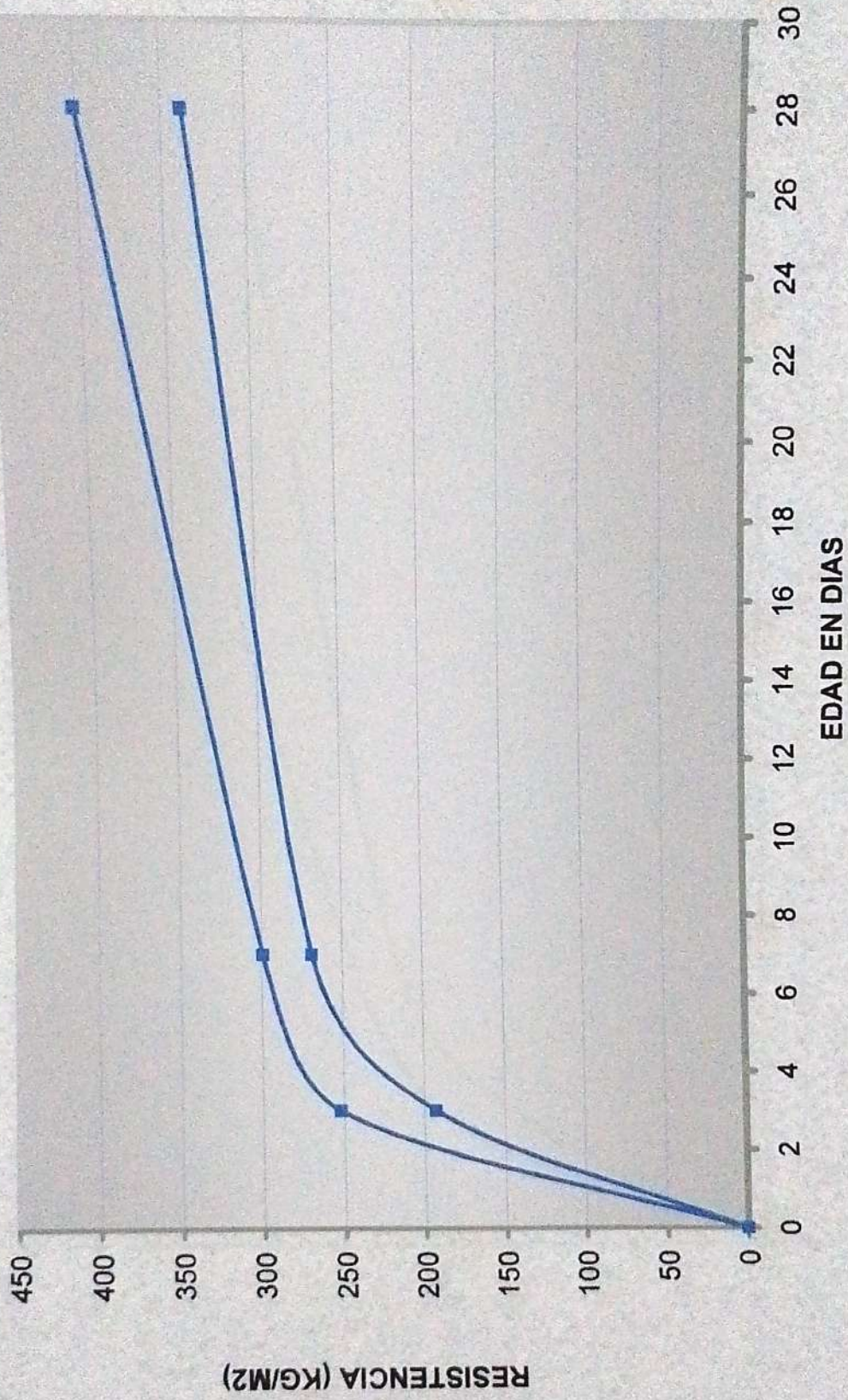
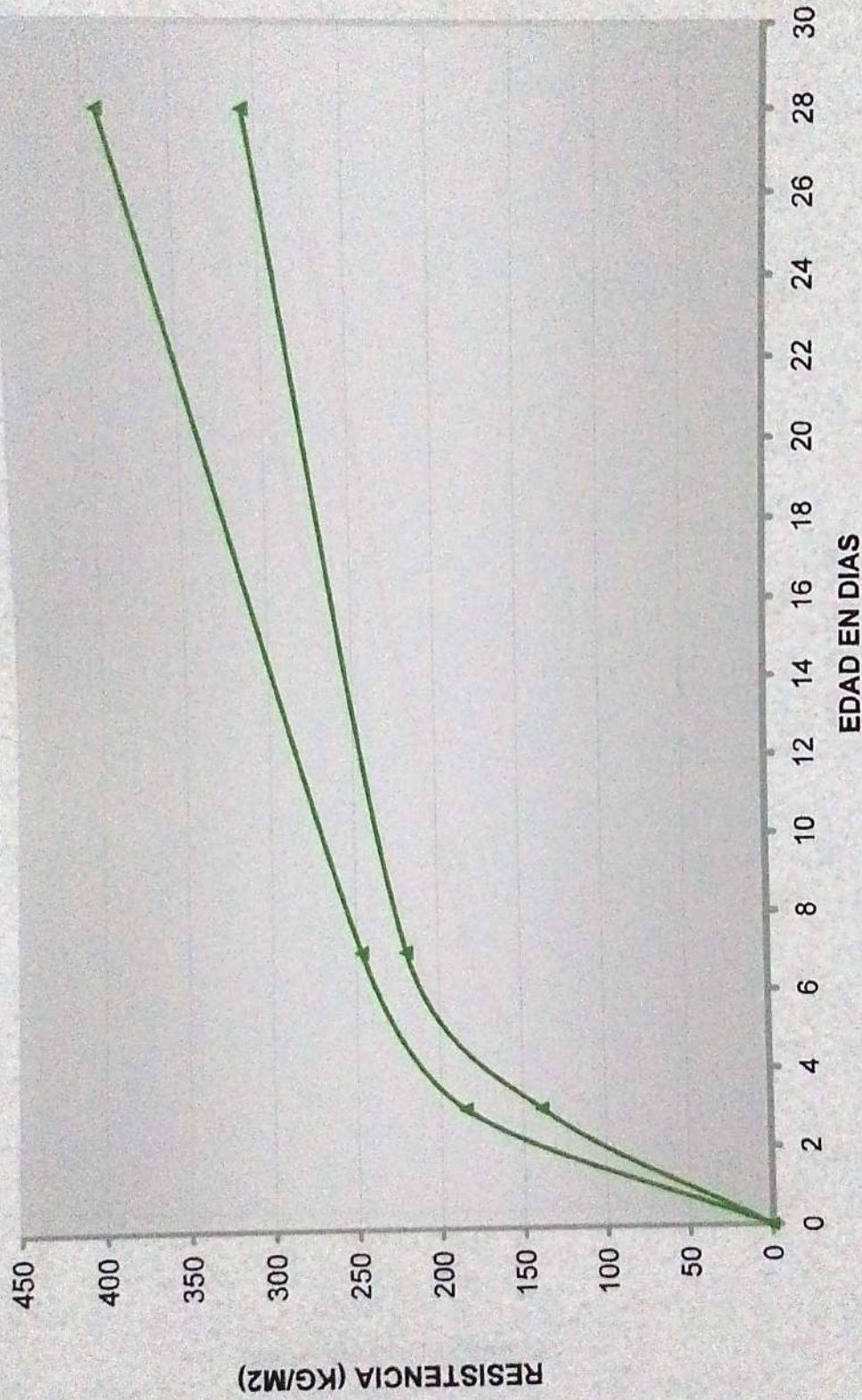
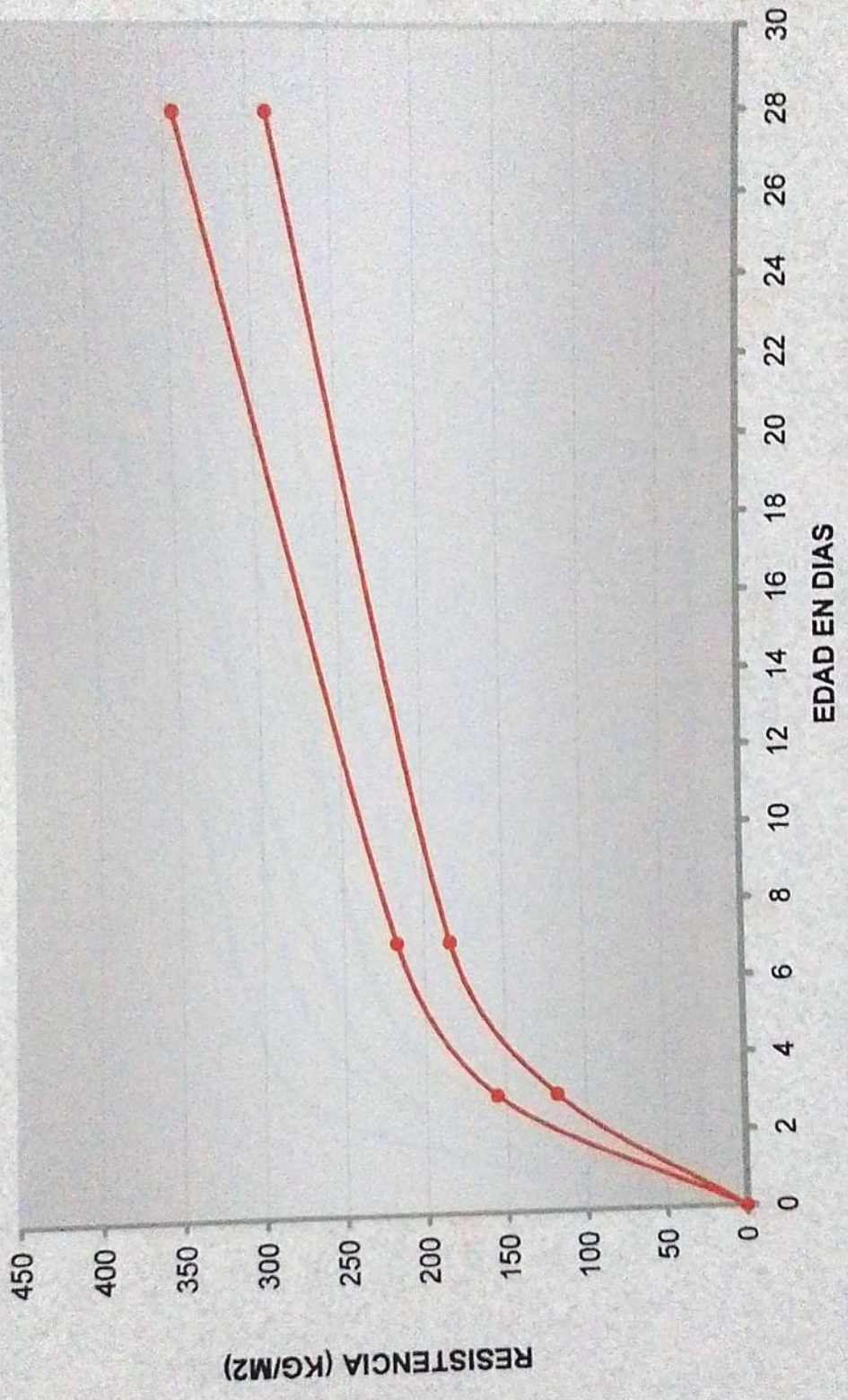


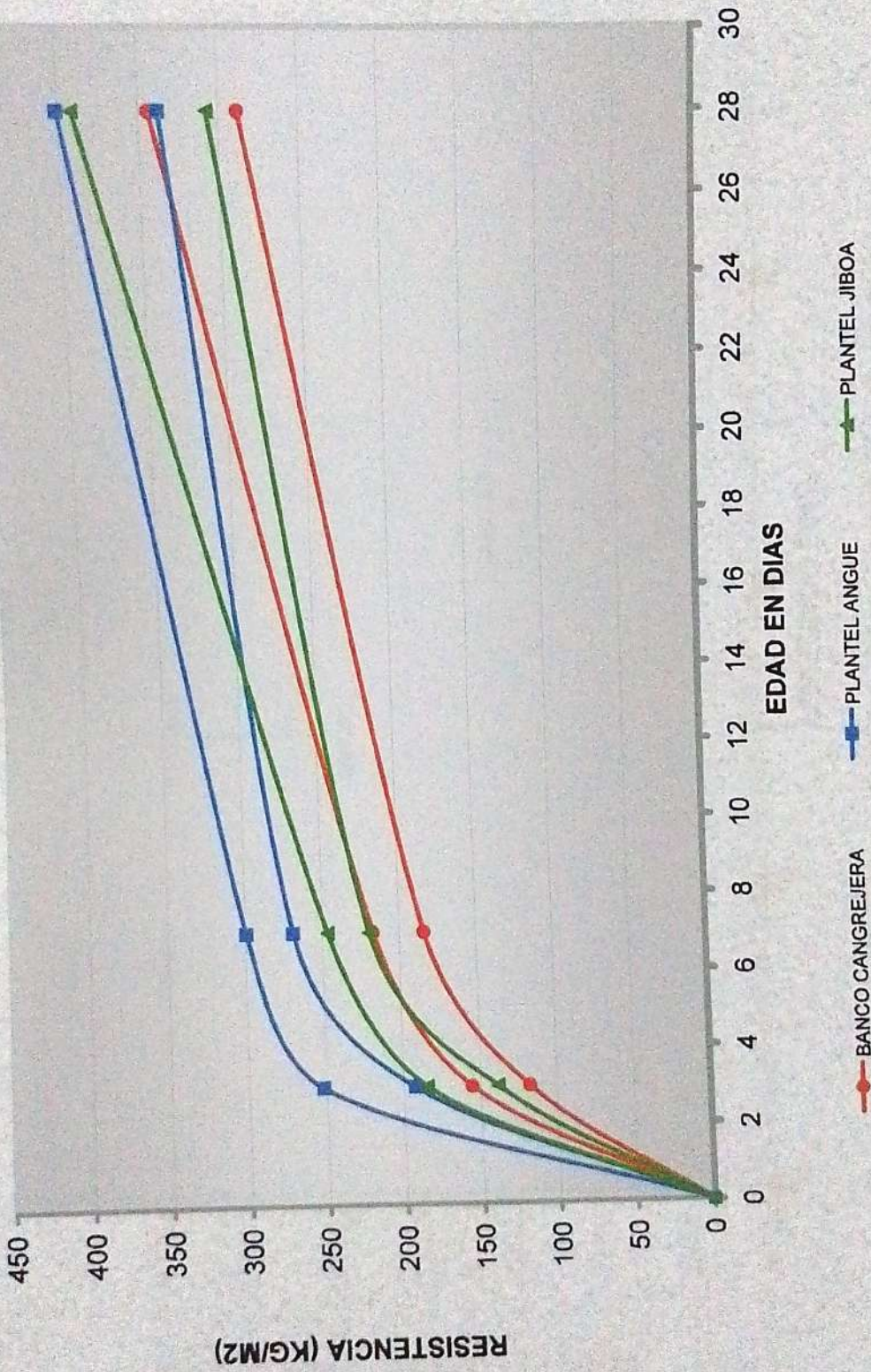
GRAFICO 4.27  
VALORES DE RESISTENCIA MAXIMOS Y MINIMOS  
ARENA PLANTEL JIBOA



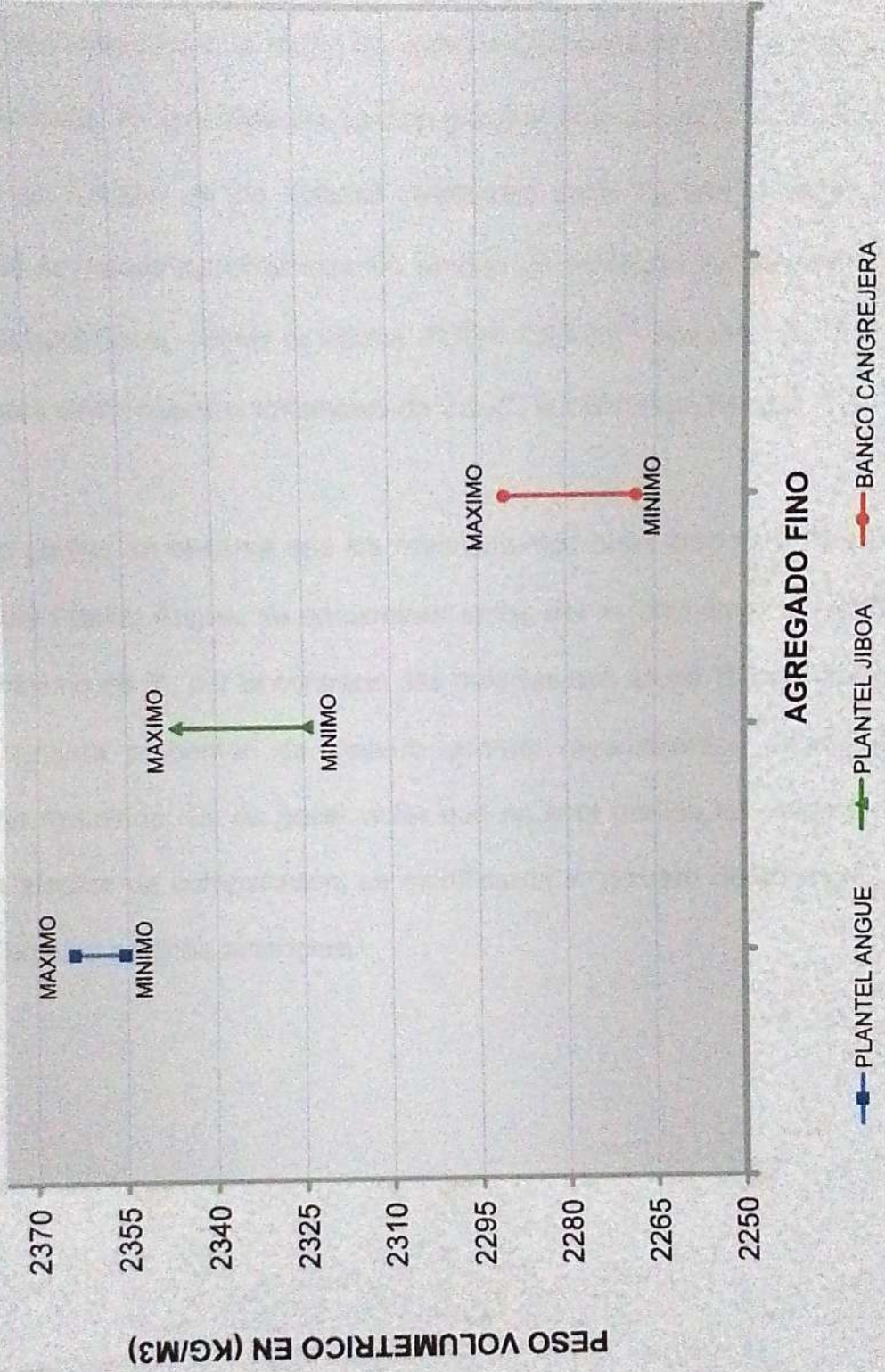
**GRAFICO 4.28**  
**VALORES DE RESISTENCIA MAXIMOS Y MINIMOS**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**



**GRAFICO 4.29**  
**VALORES DE RESISTENCIA MAXIMOS Y MINIMOS**  
**PLANTEL ANGUE, JIBOA Y BANCO CANGREJERA**



**GRAFICO 4.30**  
**VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE PESOS VOLUMETRICOS PARA CADA UNA DE LAS ARENAS**



PESO VOLUMETRICO EN (KG/M<sup>3</sup>)

AGREGADO FINO

- PLANTELE ANGUE
- PLANTELE JIBOA
- BANCO CANGREJERA

#### 4.4.7. Gráficos de variación de revenimiento vrs. fecha de colado.

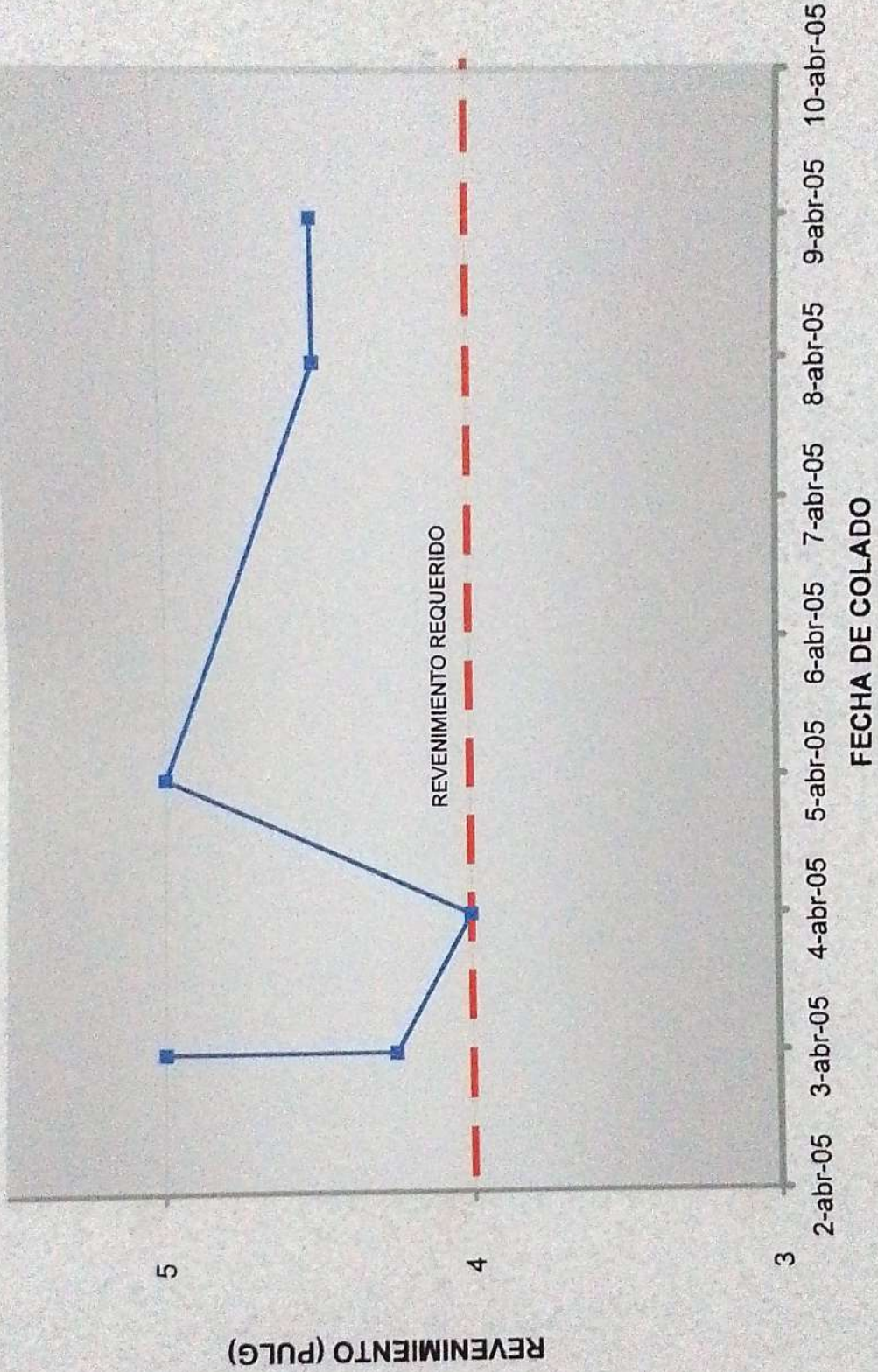
A continuación se presentan gráficos que muestran la variación del revenimiento con respecto a la fecha de colado para cada una de las mezclas realizadas. Además se presenta un grafico general que indica la variación de revenimiento en función de los colados realizados para las tres mezclas. En estos gráficos se puede apreciar que los rangos de variación están dentro de los límites establecidos, según la norma ASTM C94-96<sup>41</sup> Numeral 6, la cual indica que para revenimientos nominales de 2 a 4", la tolerancia es de  $\pm 1$ .

En el último grafico se observa que los revenimientos obtenidos para mezclas con arena del Plantel Angue, se encuentran arriba del revenimiento requerido, siendo el máximo de 5", por el contrario, las mezclas con arena Plantel Jiboa y Banco Cangrejera presentan de manera general revenimientos debajo del revenimiento requerido. Es de hacer notar que en este grafico los valores del eje X, para efectos de comparación, se modificaron a "número de colados", lo que difiere con los gráficos anteriores.

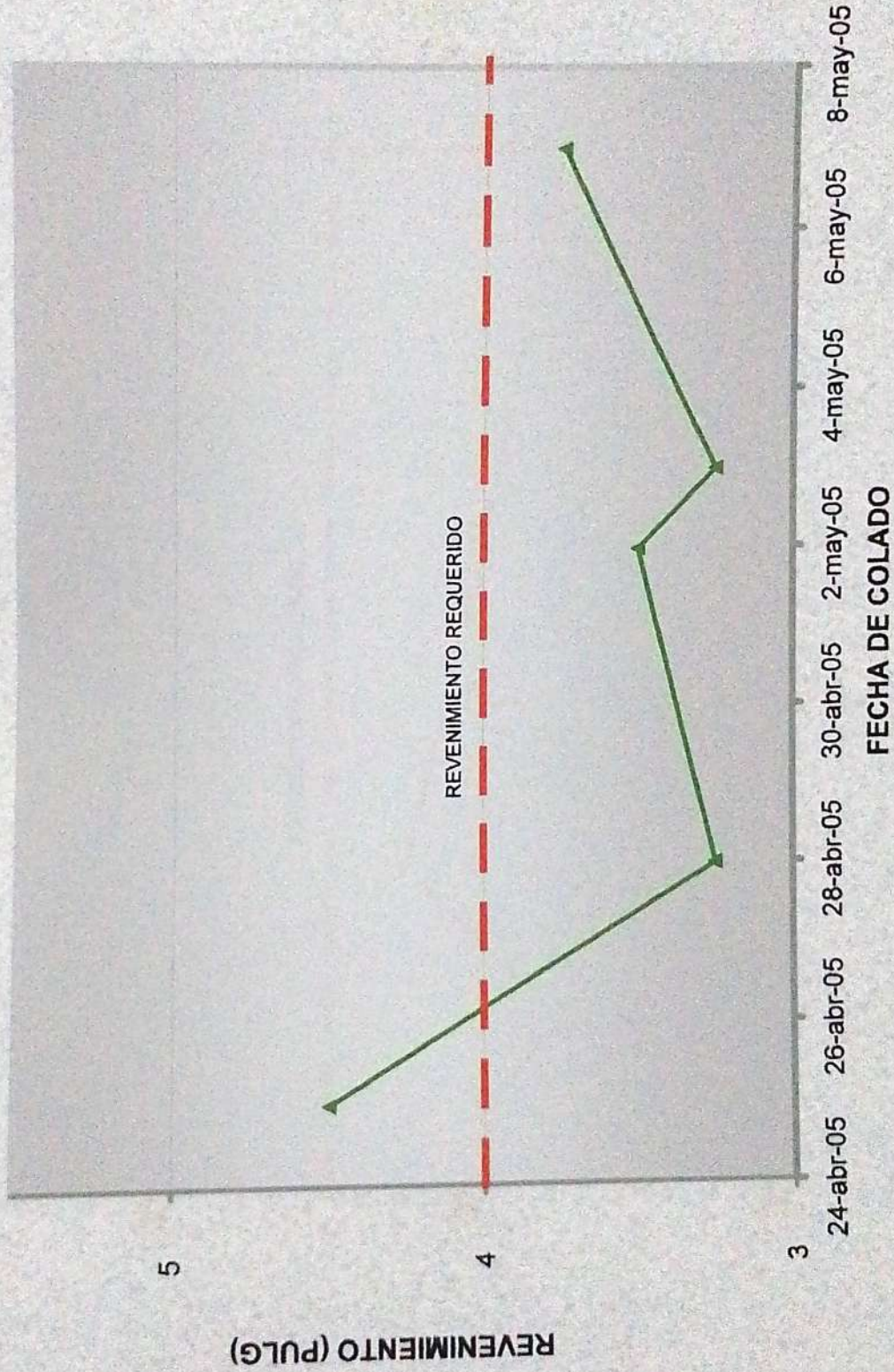
---

<sup>41</sup> ASTM C94-96: Especificaciones Estándar para Concreto Premezclado.

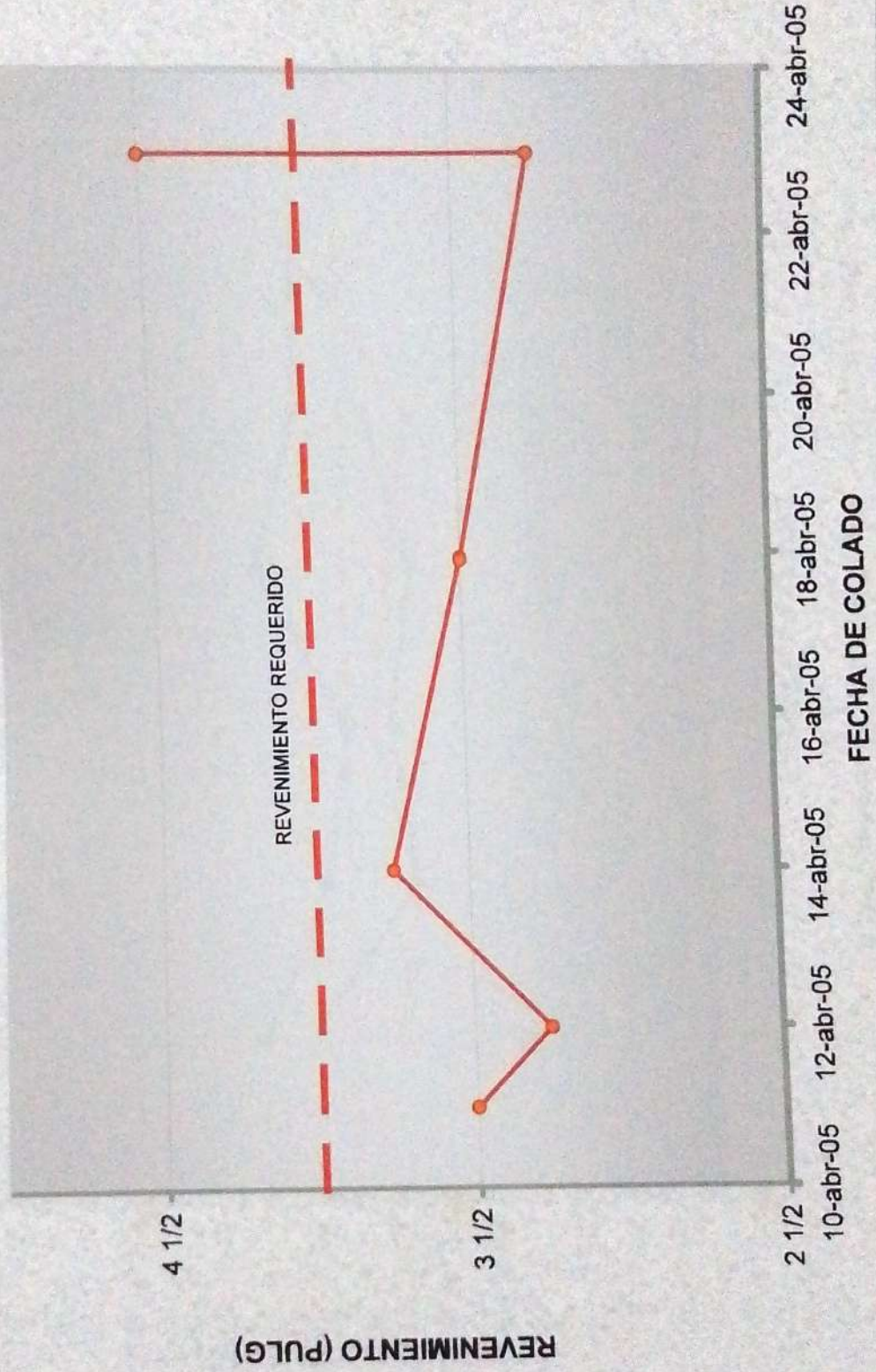
**GRAFICO 4.31**  
**VARIACION DE REVENIMIENTO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENA PLANTEL ANGUE**



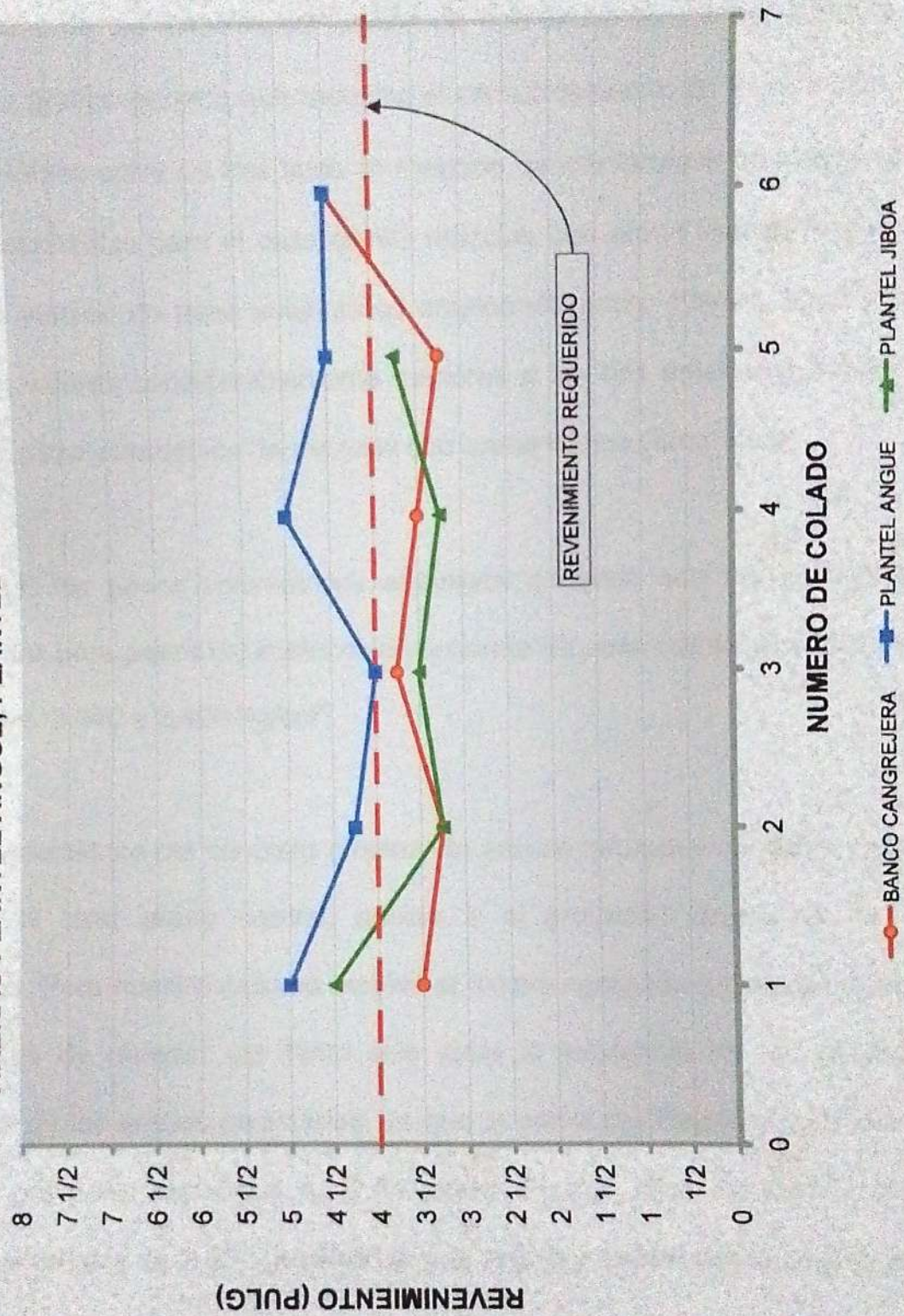
**GRAFICO 4.32**  
**VARIACION DE REVENIMIENTO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENA PLANTEL JIBOA**



**GRAFICO 4.33**  
**VARIACION DE REVENIMIENTO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**



**GRAFICO 4.34**  
**VARIACION DE REVENIMIENTO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENAS PLANTEL ANGUE, PLANTEL JIBOA Y BANCO CANGREJERA**



#### 4.4.8. Gráficos de variación de peso volumétrico vrs. fecha de colado.

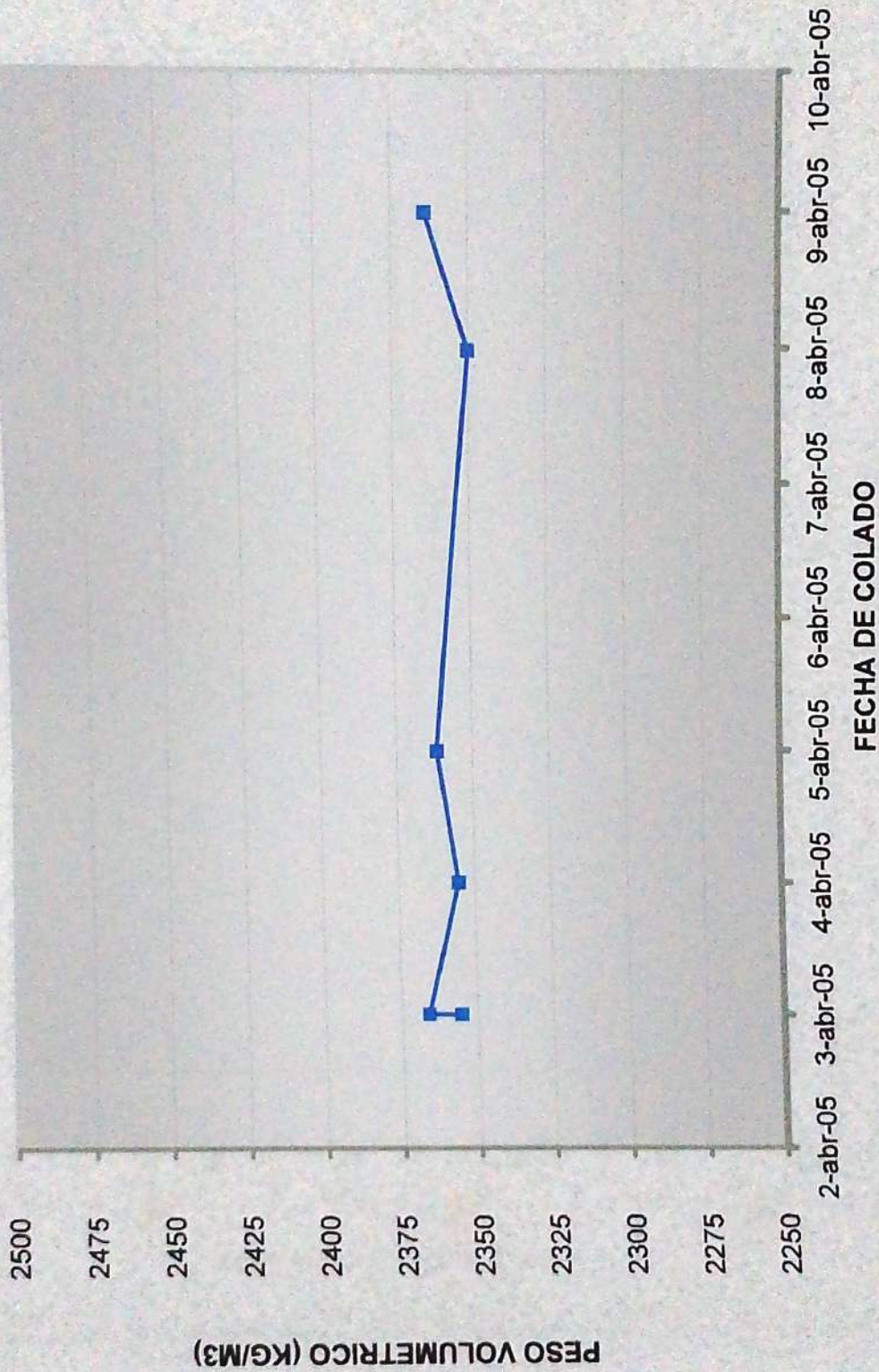
Se presentan tres gráficos que muestran la variación de los pesos volumétricos para cada una de las mezclas en función de a la fecha de colado, además se presenta un grafico general que muestra el comportamiento de la variación del peso volumétrico entre los tres tipos de mezclas, presentándose un mayor valor de peso volumétrico para el caso de las mezclas con arena Plantel Angue, le siguen los valores de peso volumétrico empleando arena Plantel Jiboa y por ultimo con valores considerablemente menores a las dos anteriores están los valores de peso volumétrico de mezclas con arena Banco Cangrejera.

En general los pesos volumétricos obtenidos cumplen con los parámetros establecidos para pesos volumétricos de concreto de peso normal el cual puede variar entre: 2,240 a 2,400 Kg/cm<sup>2</sup>.

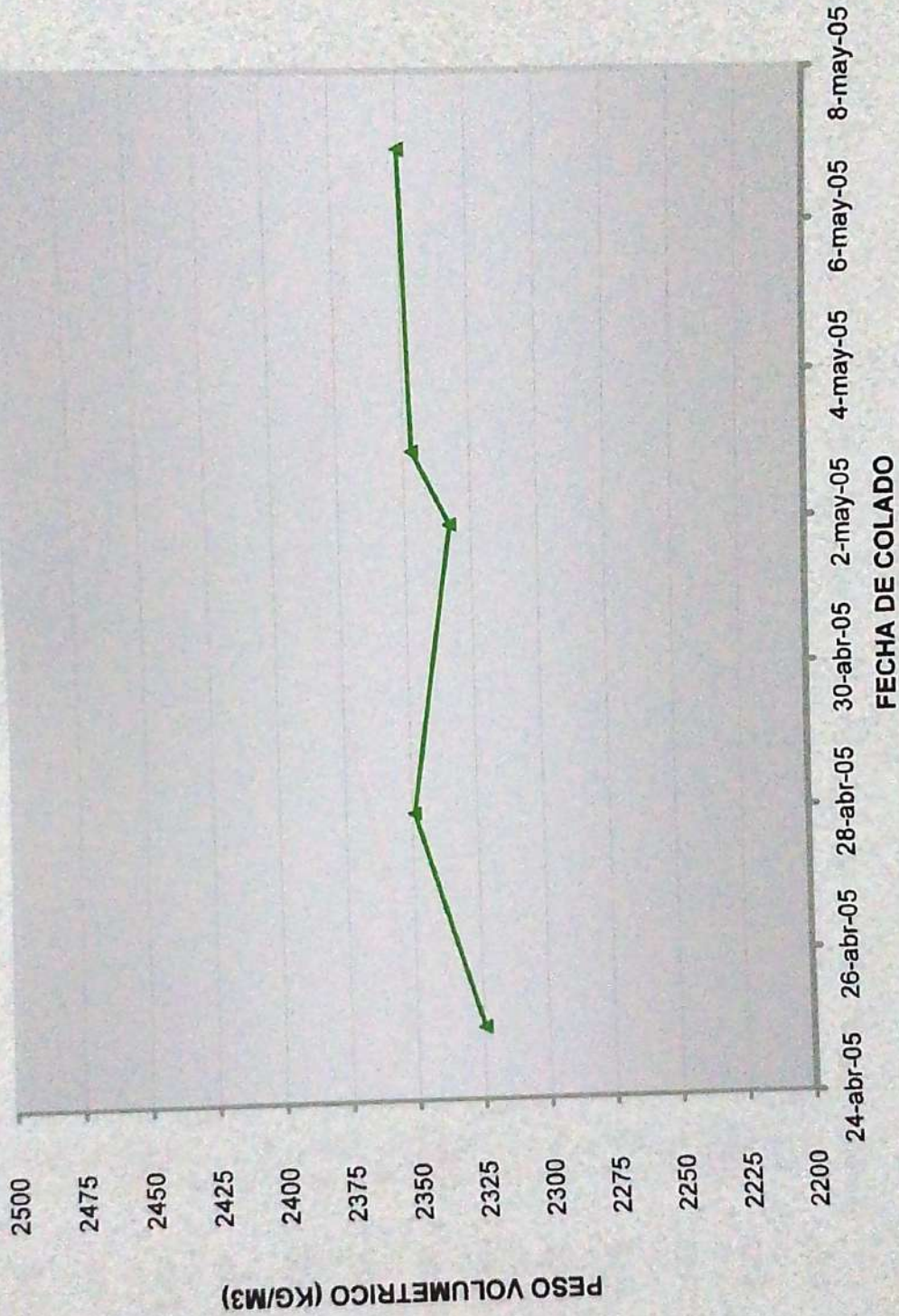
El peso volumétrico del concreto empleando arenas trituradas es mayor que el obtenido al usar arena natural, debido a la gravedad especifica de los agregados. Para nuestro caso se empleó el mismo agregado grueso para todos los diseños de mezcla, por tanto solo resta la incidencia de la gravedad especifica de las arenas empleadas, ya que la arena del Plantel Angue cuenta con una gravedad especifica de 2.54, arena Plantel Jiboa de 2.48 y arena Banco Cangrejera de 2.37. Teniéndose una relación directamente proporcional

entre la gravedad específica y el peso volumétrico, es decir, que a mayor gravedad específica, se obtienen concretos con mayor peso volumétrico,

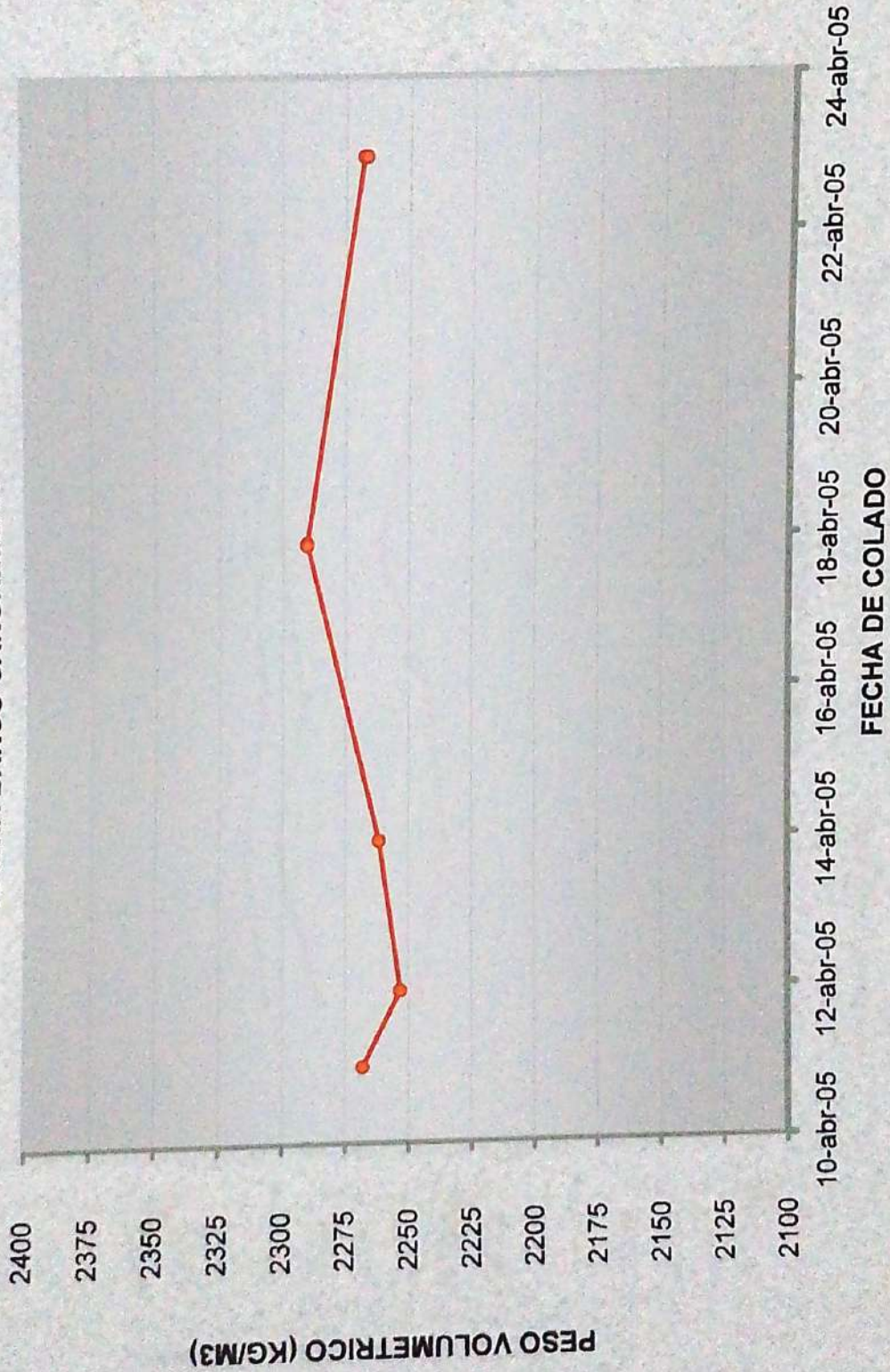
**GRAFICO 4.35**  
**VARIACION DE PESO VOLUMETRICO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENA PLANTEL ANGUE**



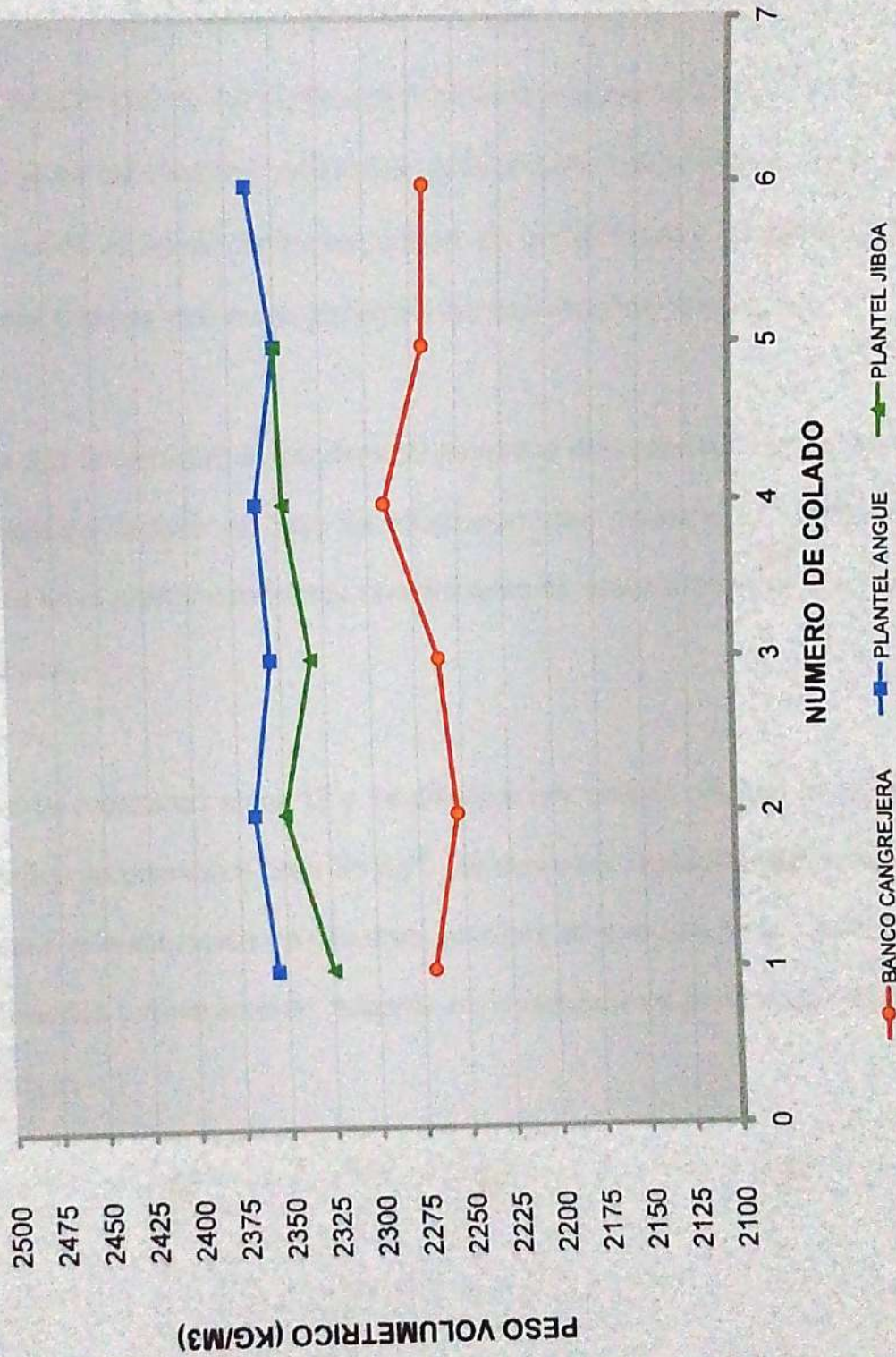
**GRAFICO 4.36**  
**VARIACION DE PESO VOLUMETRICO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENA PLANTEL JIBOA**



**GRAFICO 4.37**  
**VARIACION DE PESO VOLUMETRICO VRS FECHA DE COLADO**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**



**GRAFICO 4.38**  
**VARIACION DE PESO VOLUMETRICO VRS NUMERO DE COLADO**  
**ARENA PLANTEL ANGUE, PLANTEL JIBOA Y BANCO CANGREJERA**



#### 4.4.9. Tablas y gráficos de la cantidad de cilindros en función a la fecha de elaboración.

Como información adicional se presenta un cuadro resumen, donde se detalla la cantidad de cilindros de concreto elaborados de acuerdo a la fecha de colado para cada una de las mezclas realizadas, graficándose estos valores como una manera de medir el rendimiento por colado de la fabricación de cilindros. Se muestran tres gráficos que corresponden a las tres mezclas realizadas.

Se observa que la cantidad de cilindros se mantiene casi constante para las tres mezclas, existen fechas en que se realizaron dos colados el mismo día, reflejándose en el gráfico con barras con tamaños de aproximadamente el doble que las demás.

En general se realizaron entre 12 y 14 cilindros por colado, ya que la mayoría de los colados se diseñaron para 30 Kg<sup>42</sup> de cemento, considerando suficiente material para la elaboración de cilindros, pruebas al concreto fresco como son peso volumétrico y revenimiento, además de considerar un porcentaje pequeño de desperdicio.

---

<sup>42</sup> Se diseño para esta cantidad con el fin de no exceder la capacidad máxima de la concretora la cual es de 1 bolsa de cemento.



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



TRABAJO DE GRADUACION:

"COMPORTAMIENTO DE ARENAS DE TRITURACION COMO SUSTITUTO DE ARENA NATURAL EN LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO"

TABLA 4.36

RESUMEN DE CANTIDAD DE CILINDROS ELABORADOS POR ARENA

CANTIDAD DE CILINDROS POR EDAD ARENA PLANTEL ANGUE				
Nº DE COLADO	FECHA COLADO	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
1	3-abr-05	2	2	9
2	3-abr-05	2	2	8
3	4-abr-05	2	2	9
4	5-abr-05	2	2	9
5	8-abr-05	2	2	8
6	9-abr-05	2	2	9
SUBTOTAL		12	12	52
			TOTAL	76

CANTIDAD DE CILINDROS POR EDAD ARENA PLANTEL JIBOA				
Nº DE COLADO	FECHA COLADO	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
1	25-abr-05	2	2	9
2	28-abr-05	2	2	8
3	2-may-05	2	2	9
4	3-may-05	2	2	10
5	7-may-05	2	2	10
SUBTOTAL		10	10	46
			TOTAL	66

CANTIDAD DE CILINDROS POR EDAD ARENA BANCO CANGREJERA				
Nº DE COLADO	FECHA COLADO	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
1	11-abr-05	2	2	8
2	12-abr-05	2	2	9
3	14-abr-05	2	2	9
4	18-abr-05	2	2	5
5	23-abr-05	2	2	7
6	23-abr-05	2	2	7
SUBTOTAL		12	12	45
			TOTAL	69

CANTIDAD TOTAL DE CILINDROS -ARENA PLANTEL ANGUE	76
CANTIDAD TOTAL DE CILINDROS -ARENA PLANTEL JIBOA	66
CANTIDAD TOTAL DE CILINDROS -ARENA BANCO CANGREJERA	69
<b>TOTAL CILINDROS ELABORADOS</b>	<b>211</b>

**GRAFICO 4.39**  
**CANTIDAD DE CILINDROS POR FECHA DE COLADO**  
**ARENA PLANTEL ANGUE**

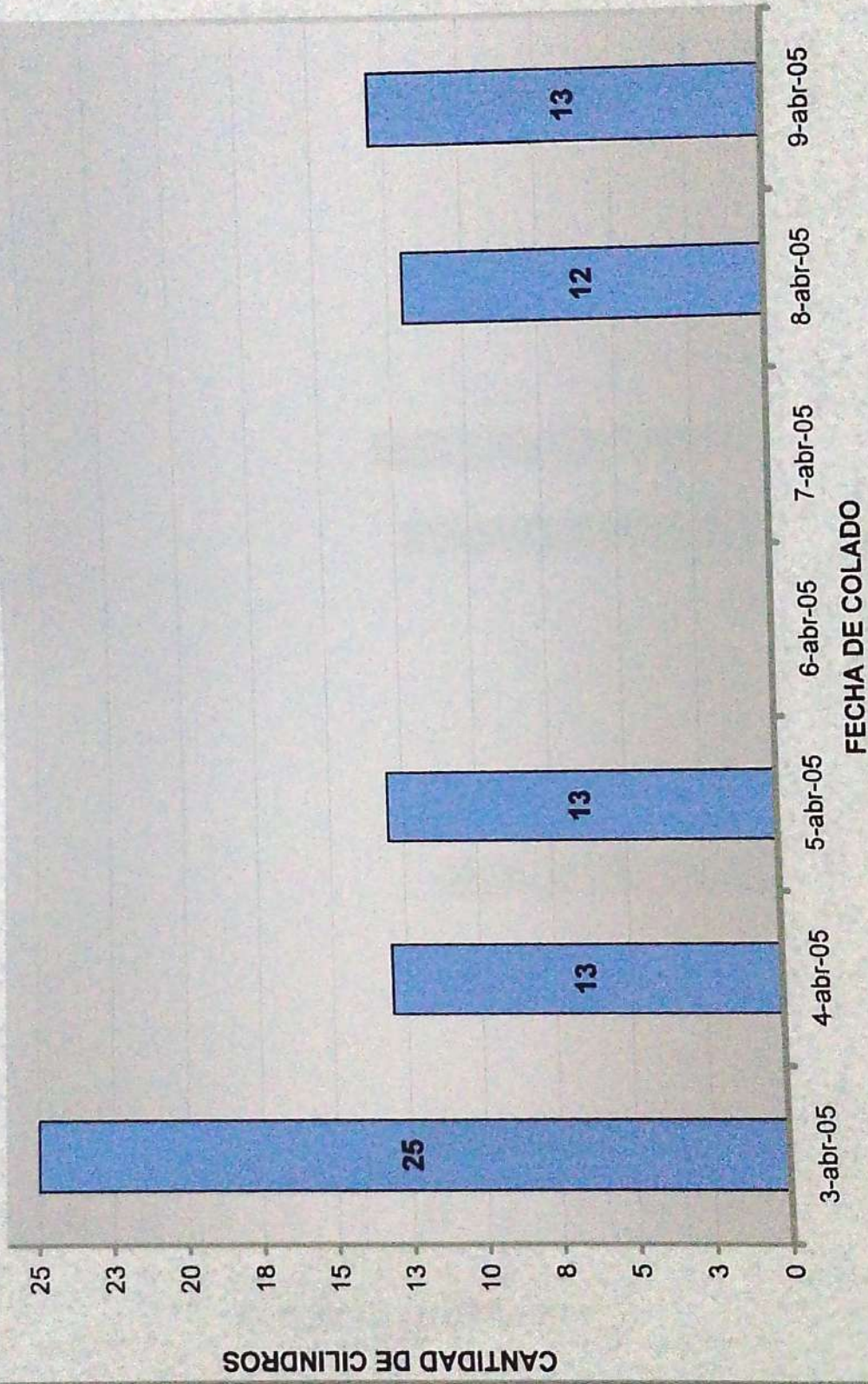
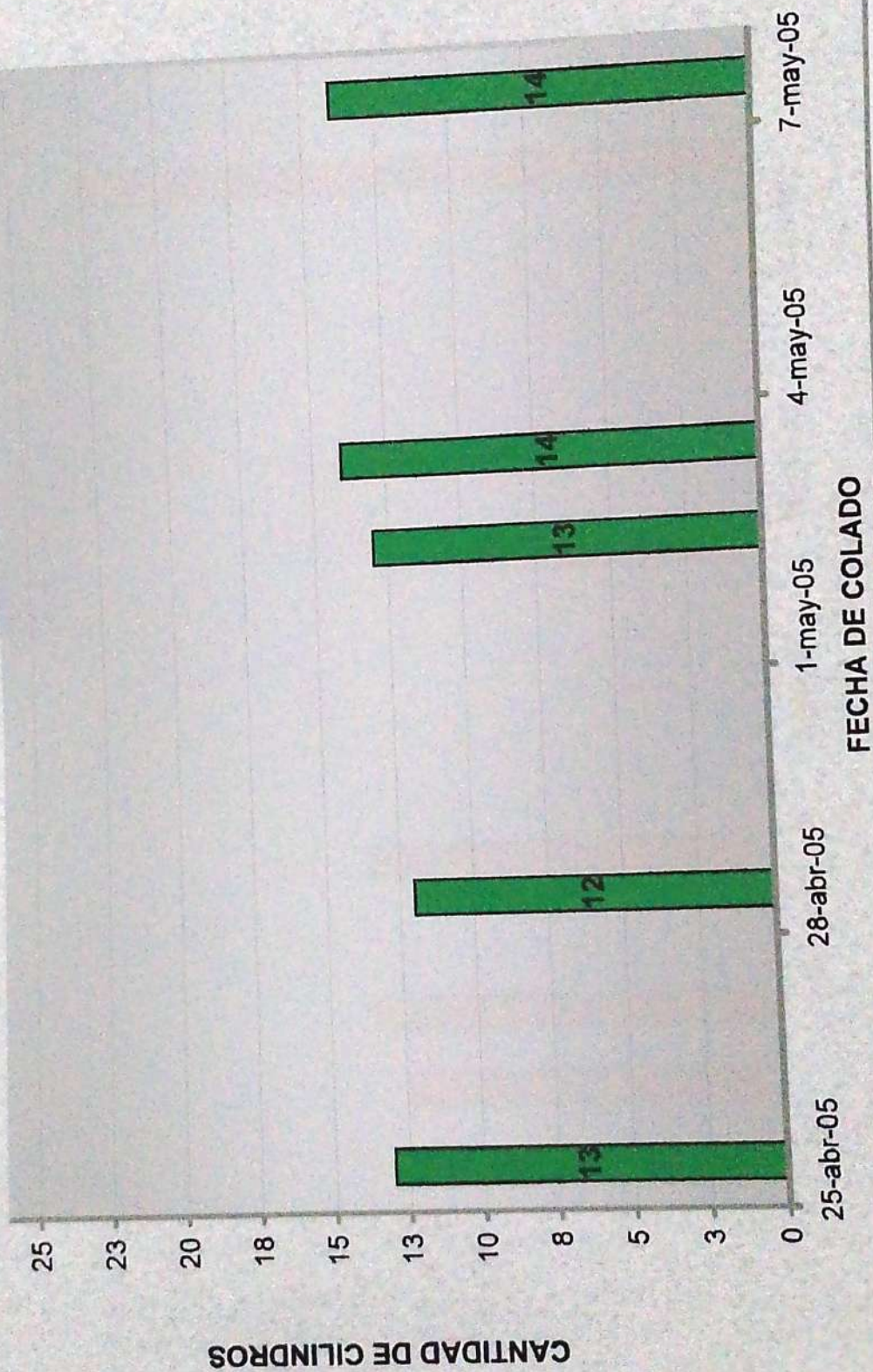
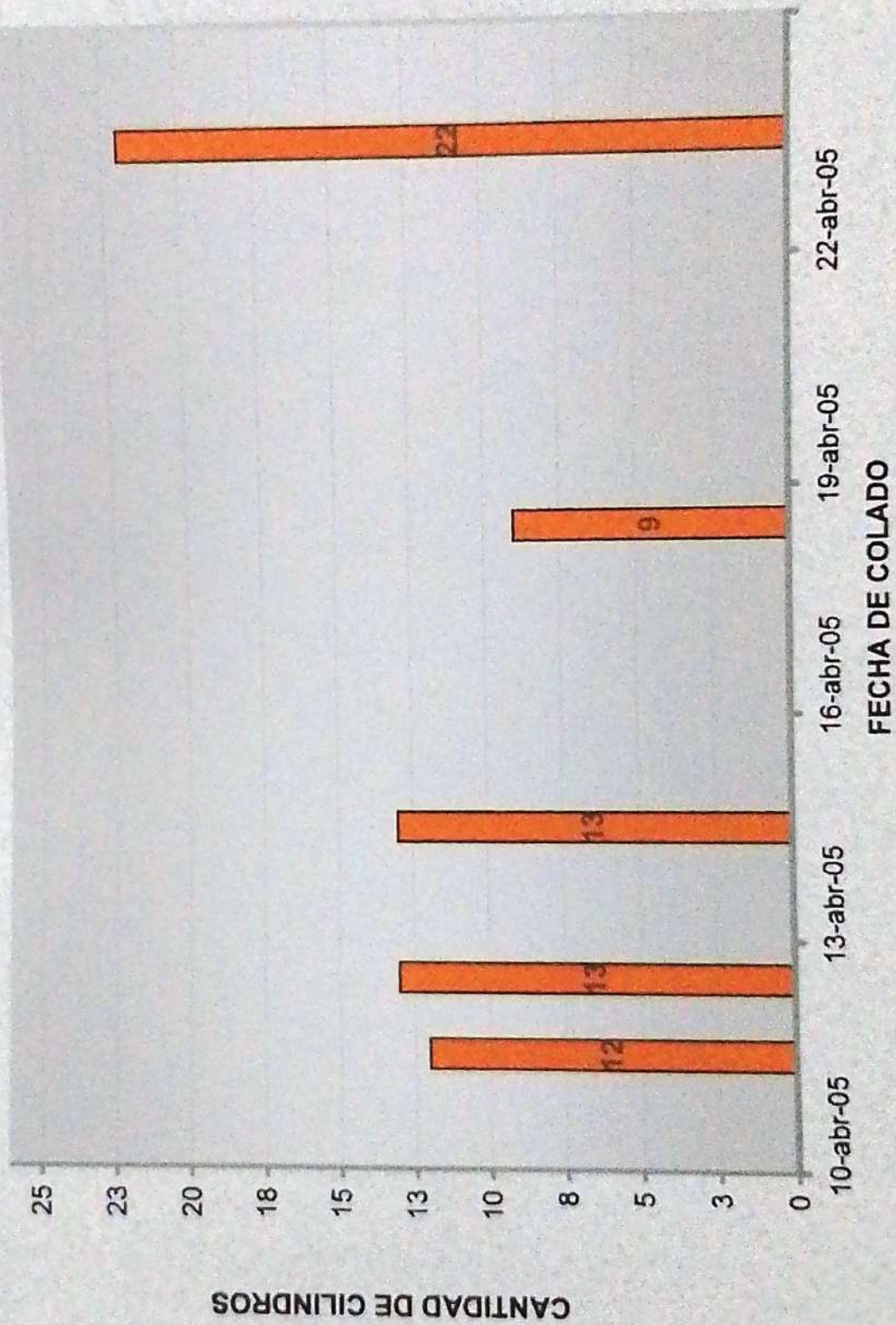


GRAFICO 4.40  
CANTIDAD DE CILINDROS POR FECHA DE COLADO  
ARENA PLANTEL JIBOA



**GRAFICO 4.41**  
**CANTIDAD DE CILINDROS POR FECHA DE COLADO**  
**ARENA BANCO CANGREJERA**



## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

##### 5.1.1 CONCLUSIÓN GENERAL

- De acuerdo a los resultados de la investigación, las arenas trituradas son un buen sustituto de las arenas naturales, debido a que cumplen con las especificaciones de agregados para concreto (ASTM C-33). Al realizar ensayos en concretos elaborados con arenas trituradas su comportamiento fue satisfactorio. El concreto en estado fresco mostró buena trabajabilidad y en estado endurecido se obtuvieron resistencias a la compresión y peso volumétrico mayores que las obtenidas en las mezclas de concreto con arena natural.

##### 5.1.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Las arenas trituradas de los bancos estudiados presentan mayor gravedad específica que los obtenidos con arena natural, teniéndose para el Plantel Angue un valor de 2.54, para Plantel Jiboa 2.48 y para Cangrejera (arena natural) 2.37.

- Las arenas trituradas de los bancos investigados presentan un menor porcentaje de absorción que la arena natural, teniéndose 2.86% para el Plantel Angue, 3.90% para Plantel Jiboa y 5.36% para Cangrejera (arena natural).
- Las arenas trituradas de los bancos estudiados presentan mayor peso volumétrico que la arena natural, observándose para el Plantel Angue un valor de 1570.48 kg/m<sup>3</sup>, 1689.38 kg/m<sup>3</sup> para Plantel Jiboa y 1486.45 kg/m<sup>3</sup> para la arena natural del Banco Cangrejera.
- Las arenas trituradas de los bancos investigados no presentan materia orgánica.
- Las arenas trituradas en estudio presentaron mayor módulo de finura<sup>43</sup>, obteniéndose en el Plantel Angue un valor de 2.87, en el Plantel Jiboa 2.98 y para la arena natural (Banco Cangrejera) un valor de 2.49.
- Las arenas trituradas contienen mayor cantidad de finos que la arena natural, pasando por el tamiz # 200 el 3.69% en la arena del Plantel Angue, 5.89% para el Plantel Jiboa y 1.18 % para la arena del banco Cangrejera (natural).
- El uso de arena triturada en el concreto, genera un menor consumo de cemento con respecto al elaborado con arena natural, ya que el concreto con arena del Plantel Angue requirió un 13.28 %, el concreto con arena del Plantel Jiboa un 13.35 % y en cambio la mezcla con arena del banco

<sup>43</sup> Estos valores de Modulo Finura corresponden a las fechas de muestreo de Febrero a Junio de 2005, los cuales difieren con los valores presentados en el capítulo III por haber sido muestreados en un periodo anterior. (Junio - Julio de 2004).

Cangrejera (arena natural) requirió un 14.37 % de cemento para 1 m<sup>3</sup> de concreto, para la misma resistencia de diseño  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

- El empleo de arena triturada en el concreto, según los resultados obtenidos genera mayor resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días, comparado con el concreto elaborado con arena natural, tal como se muestran los resultados promedios a los 28 días que son: 368.91, 350.01 y 310.47 kg/cm<sup>2</sup>, para el Plantel Angue, Plantel Jiboa y Cangrejera respectivamente.
- Las arenas trituradas usadas como agregado fino en el concreto, proporcionan mayor peso volumétrico, con respecto al concreto elaborado con arena natural, Obteniéndose resultados para el concreto con arena del Plantel Angue de 2358.69 kg/m<sup>3</sup>, 2340.64 kg/m<sup>3</sup> para Plantel Jiboa y 2268.09 kg/m<sup>3</sup> para la arena del Banco Cangrejera
- Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días cumplen con los criterios de aceptación que establece el ACI 214, ya que la desviación estándar obtenida fue de 13.33, 24.59 y 17.71 kg/cm<sup>2</sup>, resultando excelente, aceptable y buena para el concreto elaborado con arena del Plantel Angue, Plantel Jiboa y Cangrejera respectivamente.
- Los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días cumplen con los criterios de aceptación dados en el ACI 318 y ASTM C 94, que limitan los porcentajes de resultados inferiores a  $f'c$  en 9.0 y 10.0% respectivamente, ya que para las tres mezclas de concreto (con arena del

Plantel Angue, Plantel Jiboa y Cangrejera) no se obtuvo ningún resultado inferior a la resistencia especificada  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

## 5.2 RECOMENDACIONES

- A las empresas que producen concreto premezclado, prefabricados y constructores se recomienda consideren el empleo de arena triturada en sus procesos, ya que como se ha demostrado es un buen sustituto de la arena natural, cumpliendo con la normativa ASTM C-33; proporcionando al concreto en estado endurecido mayor resistencia y peso volumétrico y en estado fresco una mezcla con adecuada manejabilidad.
- Al Plantel Jiboa se recomienda disminuir el módulo de finura de su arena, ya que presenta un resultado de 2.98, muy cercano a 3.10 (límite superior que establece la normativa ASTM C-33). Intervenir en el proceso de producción para disminuir la incidencia de material retenido en los tamices No. 16 y No. 30.
- Actualmente en el país existen otros bancos que producen arena triturada, por ejemplo Plantel La Bóveda (La Unión), o están en proceso de producción como Cantera "La Cantera" en San Diego (La Libertad), pudiendo ampliarse la investigación presente al estudio de los agregados finos producidos por estos bancos.

## BIBLIOGRAFÍA

### Documentos

- American Standard for Testing Materials. Annual Book of Standard Specifications. Concrete and Mineral Agregates, Vol 04.02.
- Argueta Alvarado, Julio César. Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El salvador. Tesis UES 1998.
- Benítez Esparza, Pedro Luis. Técnicas Modernas en la Producción de Agregados. FUNDEC 1986.
- Cementos Progreso. Arena de Caliza para Concreto Planta la Pedrera Zona 6. Boletín Informativo, Guatemala 2003.
- Comisión Federal de Electricidad. Manual de Tecnología del concreto. Sección 1,2 y 4, México 1994.
- Duarte, Juan Antonio. Tecnificación y Aplicación de la Producción de Agregados Pétreos Locales en Concreto. Tesis UES 1968.

- González Magaña, José Antonio. Investigación del Concreto Utilizado en la Construcción del Pavimento en la Prolongación de la Calle Chiltiupan, Concreto de 40 kilogramos a flexión y cemento 1157. Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto. Noviembre de 1999.
- Heinz-Richard Bosse. Centro de Investigaciones Geotécnicas y Misión Geológica Alemana en El Salvador. Minerales no Metálicos, Roca y Suelo de Uso Industrial en La República de El Salvador. Parte 4: Agregados para Concreto en El Salvador 1971-1973.
- Herrera Rodas, Plinio Estuardo. Elaboración Preliminar de la Arena Manufacturada de Caliza como Agregado Fino para Concreto. Tesis Universidad de San Carlos, Guatemala. Mayo 1994.
- IMCYC. Proporcionamiento de Mezclas: concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1. Editorial IMCYC 1993.
- IMCYC. Reglamento para las construcciones de concreto estructural y Comentarios ACI 318. Editorial IMCYC 1995.
- Legislación Ambiental. Ley de Medio Ambiente de la República de El Salvador. Editorial Jurídica Salvadoreña. El Salvador 2000.

- "Noventa Años de Evolución Para Una Explotación de Caliza en Alemania". Revista Canteras y Explotaciones, No 278. PEDECA Publicaciones Técnicas, 1990.
- Salazar, Fabián de Jesús. Estudio de las Fuentes de Arena en San Salvador y sus Alrededores. Tesis UES 1970.
- SIECA. Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras. Guatemala, diciembre de 2000.
- Waddell, Joseph y Dobrowolski, Joseph. Manual de la Construcción con Concreto. Tomo I, Tercera edición. México 1997.

### **Entrevistas**

- Ing. Guillermo Flores. Jefe Control de Calidad. Concretera Salvadoreña S.A. de C.V.
- Ing. Estuardo Herrera. Superintendente de Centro Tecnológico de Cementos Progreso S.A. de C.V.

- Tec. Carmelo Ayala. Supervisor Control de Calidad de proyecto "Construcción Grandes Obras Paquete II".
  
- Ing Saúl Cea. Gerente de Producción Cantera El Angue.
  
- Ing. Antonio López. Encargado de Producción Cantera Jiboa
  
- Ing. Tulio Pineda. Catedrático Universidad de El Salvador
  
- Ing. José Ernesto Hernández Aguilar. Gerente de Supervisión Construcción Grandes Obras Paquete II.
  
- Ing. Carlos Quintanilla. Asesor Técnico Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto.
  
- Ing. Ernesto Monterrosa. Encargado de Producción Plantel Angue.
  
- Ing. Julio Escobar. Gerente de Producción Pedrera La Cantera S.A.



T-UES  
1501  
D671c  
2005

Domínguez Portillo, Steve Ludovico  
Comportamiento de arenas de  
trituración como sustituto de  
arena natural en la elaboración  
de concreto hidráulico

5677