

TUES  
1501  
M385p  
1998  
F.2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA PARA EL RECARPETEO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
EN VIAS URBANAS DE SAN SALVADOR, UTILIZANDO  
SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO DE ESPESORES  
ULTRADELGADOS.**

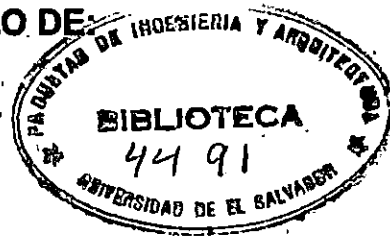
PRESENTADO POR:

FIDEL ANGEL MARTINEZ VELIZ  
CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRIGUEZ  
REYNALDO SANCHEZ SANCHEZ

15102019 15102019

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL



CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 1998

*Acuerdo de*  
*12/199*



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN**

SECRETARIO GENERAL :

**LIC. ENNIO ARTURO LUNA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR**

SECRETARIO :

**ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURAN**

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**PROPUESTA PARA EL RECARPETEO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN VIAS  
URBANAS DE SAN SALVADOR, UTILIZANDO SOBRECAPAS DE CONCRETO  
HIDRAULICO DE ESPESORES ULTRADELGADOS**

Presentado por :

**FIDEL ANGEL MARTINEZ VELIZ  
CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRIGUEZ  
REYNALDO SANCHEZ SANCHEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador :

**ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO.**

Asesores :

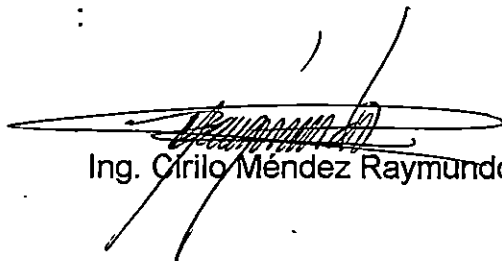
**ING. RAFAEL ALEJANDRO GONZALEZ MAGAÑA  
ING. JOSE ROBERTO DOUGLAS LEMUS**

San Salvador, Diciembre de 1998

**Trabajo de Graduación aprobado por :**

Coordinador

:



Ing. Cirilo Méndez Raymundo.

Asesores

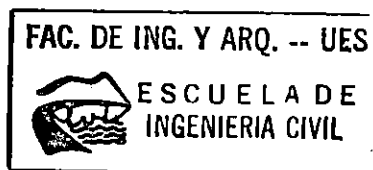
:



Ing. Rafael Alejandro González Magaña.



Ing. José Roberto Douglas Lemus.



**DEDICATORIA :**

**AL INMENSO MUNDO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA.**

**FIDEL ANGEL**

**CARLOS ANTONIO**

**REYNALDO**

**AGRADECIMIENTOS:**

**NUESTROS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS A DIOS Y A NUESTROS  
SERES QUERIDOS.**

**FIDEL ANGEL**

**CARLOS ANTONIO**

**REYNALDO**

## RECONOCIMIENTO

Este trabajo no hubiere sido posible sin la colaboración del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto(ISCYC), por su apoyo técnico, bibliográfico y económico.

A la Empresa Consultora Técnica S.A. (CONTECSA.) por todos sus servicios prestados, tanto técnicos como humanos.

Al Viceministerio de Obras Publicas, a traves de la Unidad de Planificación, por toda su valiosa información técnica.

Al Viceministerio de Transporte, a traves de Departamento de Ingeniería de Transito, por su colaboración e información técnica ofrecida.

A nuestro Coordinador y Asesores: Ing. Cirilo Méndez Raymundo, Ing. Rafael Alejandro González Magaña, Ing. José Roberto Douglas Lemus, por su asesoría y orientación, así como su valioso tiempo prestado para el buen desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Adrián Torres, CONTECSA, por su valiosa y desinteresada colaboración para el desarrollo de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma nos brindaron su colaboración.

## INTRODUCCION

En la búsqueda de nuevos métodos alternativos, durables y de costos competitivos para rehabilitar pavimentos flexibles, se desarrolla en la presente investigación la técnica de rehabilitación de pavimentos asfálticos, utilizando sobrecapas de concreto hidráulico conocida como Whitetopping; dicha técnica se presenta de manera oportuna, ya que en la actualidad la vida útil de los pavimentos flexibles del país ha llegado a su final, observándose intervenciones frecuentes en las operaciones de mantenimiento correctivo (bacheo), solucionando el problema temporalmente.

En el desarrollo de la investigación se explican las ventajas y limitantes de la técnica, así como también el éxito, obtenido con las experiencias de otros países.

En base a los planteamientos anteriores surgió la inquietud de realizar el presente trabajo, con el objetivo de contribuir con una técnica adicional para la rehabilitación de pavimentos flexibles. Este trabajo consta de seis capítulos: el capítulo I consiste en el anteproyecto y marco histórico de la investigación.

El capítulo II consta de una revisión de conceptos técnicos de ingeniería de tránsito que serán de mucha utilidad en los capítulos siguientes.

A continuación, en el capítulo III, se presentan metodologías para evaluar la estructura de pavimentos flexibles tanto en forma cualitativa como cuantitativa, llegándose a comprender el comportamiento de las capas de apoyo de un pavimento.

En el capítulo IV se describe en forma general el procedimiento para diseñar sobrecapas de

concreto hidráulico, utilizando los métodos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la Portland Cement Association (P.C.A.).

Con el conocimiento de los parámetros de diseño, se presenta en el capítulo V el proyecto "REHABILITACION DE CALLE Y AVENIDA L-3", utilizando sobrecapas de concreto hidráulico.

Y en la parte final que corresponde al capítulo VI, se plantean las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

## INDICE

Introducción	.....i
<b>CAPITULO I ANTEPROYECTO.</b>	
1.0 Anteproyecto	.....2
1.1 Antecedentes	.....2
1.2 Marco Histórico de la Red Vial de El Salvador	.....3
1.3 Planteamiento del problema	.....13
1.4 Objetivos	.....14
1.4.1 Objetivo General	.....14
1.4.2 Objetivos Específicos	.....14
1.5 Alcances	.....15
1.6 Delimitaciones	.....15
1.7 Justificación	.....15
1.8 Metodología de Trabajo	.....16
1.9 Planificación de Recursos a Utilizar	.....17
<b>CAPITULO II REVISION DE CONCEPTOS TECNICOS.</b>	
2.0 Situación Actual de la Red Vial y el Mantenimiento tradicional	.....19
2.1 Tipos y Funciones de las Vías Urbanas	.....19
2.2 Elementos que integran una Vía Urbana	.....20
2.3 Análisis de Tráfico en las Vías Urbanas de San Salvador	.....22
2.3.1 Revisión de Conceptos Técnicos relacionados con la Ingeniería de Tránsito	.....22
2.3.2 Ajuste de Volúmenes de Tráfico	.....24
2.3.3 Estudios de Origen y Destino de los Viajes	.....25
2.3.3.1 Características de los Estudios de Origen y Destino	.....25
2.3.3.2 Aplicaciones de los Estudios de Origen y Destino	.....26
2.3.3.3 Métodos para la Recopilación de datos de los Estudios de Origen y Destino	.....27

2.3.4	Volúmenes de Tráfico Actual	.....	28
2.3.5	Clasificación de Vehículos	.....	30
2.3.6	Composición del Tráfico	.....	33
2.3.7	Carga Vehicular	.....	34
2.4	Clasificación de las Fallas en los Pavimentos Flexibles	.....	39
2.4.1	Fallas Estructurales	.....	39
2.5	Métodos y Técnicas que se utilizan en el Mantenimiento de las Vías	.....	42
2.5.1	Técnicas empleadas en el Mantenimiento	.....	44
2.5.2	Métodos de mantenimiento	.....	44
2.6	Tipos de Mantenimiento y Técnicas aplicados en Vías urbanas de San Salvador	.....	47
2.7	Nuevas Técnicas y Métodos para el Mantenimiento y Rehabilitación de Vías Urbanas de San Salvador, utilizando Sobrecapas de Concreto Hidráulico	.....	52
2.7.1	Definiciones y Orígenes de las Sobrecapas de Concreto Hidráulico (Whitetopping)	.....	52
2.7.2	Clasificación de las Sobrecapas de Concreto Hidráulico	.....	53
2.7.3	Tipos de Sobrecapas de Concreto Hidráulico (Convencional y Ultradelgados)	.....	55
2.8	Sobrecapas de Ultradelgadas de Concreto Hidráulico Simple	.....	55
2.8.1	Generalidades	.....	55
2.8.2	Eficiencia	.....	58
2.8.3	Criterios de Diseño	.....	61
<b>CAPITULO III EVALUACION Y COMPORTAMIENTO DE LAS CAPAS DE APOYO DE UN PAVIMENTO.</b>			
3.0	Evaluación y Comportamiento de los Pavimentos Asfálticos	.....	62
3.1	Evaluación de Pavimentos Asfálticos o Flexibles	.....	62
3.2	Tipos y Propiedades de los Suelos	.....	64
3.3	Capas de un Pavimento	.....	67
3.4	Requisitos de las Capas de Apoyo	.....	68

3.5	Ensayos Directos para Evaluar la Estructura de los Pavimentos .....	71
3.5.1	Método de Relación de Soporte de California (CBR) Inalterados .....	72
3.6	Prueba de Placa .....	75
3.6.1	Prueba de Placa con Ensayo de Carga No Repetitiva .....	76
3.6.2	Prueba de Placa con Ensayo de Carga Repetitiva .....	77
<b>CAPITULO IV DISEÑO DE SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO, UTILIZANDO LOS METODOS AASHTO Y PCA.</b>		
4.0	Diseño de Sobrecapas utilizando los Métodos AASHTO y PCA .....	78
4.1	Actividades previas al Diseño de Sobrecapas de Concreto Hidráulico .....	78
4.1.1	Levantamiento Físico de las Condiciones actuales .....	78
4.1.1.1	Pavimento .....	78
4.1.1.2	Tráfico .....	81
4.2	Diseño de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico .....	82
4.2.1	Definición de Parámetros necesarios para el Diseño .....	82
4.2.1.1	Cargas por Tráfico .....	82
4.2.1.2	Capacidad de Soporte del Pavimento.....	87
4.2.1.3	Condiciones Ambientales .....	91
4.2.1.4	Nivel de Confianza y Desviación estándar.....	92
4.2.1.5	Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura del Concreto.....	94
4.2.1.6	Coefficiente Transferencia de Carga .....	95
4.2.1.7	Perdida de Serviciabilidad .....	96
4.3	Diseño del Espesor de la Sobrecapa Utilizando el método de la AASHTO.....	96
4.4	Diseño del Espesor de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico según el método PCA .....	101
4.5	Generalidades de Juntas en Sobrecapas de Concreto Hidráulico.....	104
4.5.1	Tipos y Clasificación de Juntas .....	107

4.6	Diseño de Juntas	.....	111
4.6.1	Mecanismos de Transferencia de Carga en las Juntas.....		112
4.6.2	Diseño de Juntas Longitudinales y Transversales.....		114
4.6.3	Materiales y Propiedades de los Sellantes.....		117
4.7	Actividades Previas al Proceso Constructivo de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico	.....	119
4.7.1	Reparación de los Areas Deteriorados y Realización de Mejoras en el Drenaje.....		119
4.7.2	Fresado de la Superficie Existente ó Colocación de una Capa de Nivelación de Concreto Asfáltico	.....	121
4.8	Proceso Constructivo de las Sobrecapas de Concreto Hidráulico.....		122
4.8.1	Colocación y Acabado del Concreto	.....	122
4.8.2	Aserrado y Sellado de Juntas	.....	125
4.8.3	Curado de las Sobrecapas de Concreto Hidráulico.....		127
4.9	Lineamientos Generales para la Colocación de las Sobrecapas, Utilizando Tecnicas De Apertura Rápida al Trafico (Fast Track)	.....	130
4.9.1	Aplicaciones	.....	130
4.9.2	Materiales	.....	132
4.9.3	Construcción	.....	136

**CAPITULO IV PROYECTO DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
UTILIZANDO SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO SIMPLE.**

5.0	Proyectos de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles Utilizando Sobrecapas de Concreto Hidráulico Simple	.....	141
5.1	Proyecto "Rehabilitación de Calle y Avenida L-3"	.....	141
5.1.1	Levantamiento Físico de las Condiciones Actuales del Pavimento y Trafico	.....	141
5.1.2	Diseño de Espesor de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico	.....	161

5.1.2.1 Cargos por Trafico (ESAL's)	161
5.1.2.2 Capacidad de Soporte del Pavimento	176
5.1.2.3 Condiciones Ambientales	178
5.1.2.4 Nivel de Confianza y Desviación Standard	178
5.1.2.5 Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura del Concreto	179
5.1.2.6 Coeficiente de Transferencia de Carga	179
5.1.2.7 Pérdida de Serviciabilidad	179
5.1.3 Cálculo del Espesor de la Sobrecarga	180
5.1.3.1 Método de la AASHTO	180
5.1.3.2 Diseño del Espesor de la Sobrecapa Según Criterio de la PCA	180
5.1.4 Diseño de Juntas, Longitudinales y Transversales	181
5.1.4.1 Juntas Transversales	181
5.1.4.2 Juntas Longitudinales	182
5.1.5 Materiales y Cantidad de Obra	183
5.1.6 Proceso de Construcción del Proyecto Calle y Avenida L-3, Ciudad Merliot	185

## **CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones	187
Recomendaciones	191
Bibliografía	193
Anexos	196
Anexo 1	197
Anexo 2	198

## **GLOSARIO DE TERMINOS UTILIZADOS**

**MOP** : Ministerio de Obras Públicas

**DGC** : Dirección General de Caminos

**DUA** : Dirección de urbanismo y Arquitectura

**CIG** : Centro de Investigaciones Geotecnicas

**AMSS** : Area Metropolitana de San Salvador

**ISCYC** : Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto

**IMCYC** : Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

**ICPC** : Instituto Colombiano Productores de Cemento

**FICEM** : Federación Interamericana del Cemento

**ICPA** : Asociación de pavimentadores de Iowa

**PCA** : Asociación de Cemento Portland

**ACPA** : Asociación Americana de Pavimentos de Concreto

**ASTM** : Sociedad Americana de Pruebas de Materiales

**SUCS** : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

**AASHTO** : Asociación Americana de Carreteras Estatales y transportes Oficiales

**UTW** : Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico

**ESAL's** : Numero de Ejes Sencillos Equivalentes de Carga de 8.2 ton. En el carril de Diseño, durante la vida útil del Pavimento

# **CAPITULO I**

## **ANTEPROYECTO**

## 1.0 ANTEPROYECTO

### 1.1 ANTECEDENTES.

El sistema de carreteras y vías urbanas de El Salvador, está compuesto predominantemente por pavimentos flexibles (aproximadamente 99 % <sup>1</sup>), encontrándose en la actualidad en un 85% de ellas seriamente afectadas<sup>2</sup> (a nivel estructural), debido a que su vida útil de diseño ha finalizado y en otros casos se ha reducido por un incremento excesivo en los volúmenes de tráfico, cargas excesivas por eje, malos drenajes, fugas de aguas en tuberías, derrames de aceites y combustibles por motores de vehículos en mal estado y una mala planificación del desarrollo urbano, obteniéndose una Red Vial Nacional y Urbana débil, por lo que se hace necesario realizar una rehabilitación inmediata.

Aparentemente las técnicas empleadas para el mantenimiento o rehabilitación, solucionan el problema temporalmente, dando lugar a que las instituciones encargadas de mantenerlas en condiciones óptimas realicen frecuentemente grandes inversiones, por tal razón se hace necesario el estudio de otros métodos que resuelvan dicha problemática como pueden ser los que se realizan utilizando Concreto Hidráulico, los cuales han demostrado tener mayor durabilidad y bajos costos de mantenimiento.

En nuestro país las experiencias utilizando Concreto Hidráulico en carreteras y vías urbanas, se remonta específicamente en la ciudad de San Salvador, donde en los años de 1921 a 1928, se utilizó como base para asfalto y en losas de concreto para varias calles destinadas al servicio de carreteras, posteriormente fué utilizada en redondeles e intersecciones de avenidas y calles del AMSS, existiendo aun en buen estado algunos de estos proyectos.

Observándose lo anterior y tomando como ejemplo el éxito en las investigaciones realizadas en los Estados Unidos, México, Argentina, Chile y en algunos países de Europa, en la utilización de Concreto Hidráulico para el recarpeteo de pavimento flexible, se hace necesario realizar en nuestro país una investigación con respecto a lo mencionado; Las investigaciones realizadas en

---

<sup>1</sup> Diagnostico de la red vial de El Salvador, soluciones y costos del D.U.A. de los años 1990 al 1994.

<sup>2</sup> Entrevista con Ing. José Alberto Mendoza, Jefe del Departamento de Mantenimiento del D.U.A.

estos países, se iniciaron con Sobrecapas cuyos espesores varían de 15 a 18 cm. conocidas como Sobrecapas Convencionales, llegando a experimentar en 1990 en Louisville Kentucky, Estados Unidos de América con Sobrecapas Ultradelgadas de espesores que varían de 5 a 10 cm. obteniéndose magníficos resultados; por tal razón las obras con espesores ultradelgados se propagaron en gran medida en ese país, así como también en México y Argentina.

En lo referente al análisis del costo de ciclo de vida en la rehabilitación de pavimentos flexibles se ha comenzado a reconocer que los pavimentos de asfalto exigen mantenimientos importantes, esto es a corto plazo, lo cual contrasta con la experiencia que se tiene con los pavimentos de concreto. Estos hechos indican que el empleo de Sobrecapas de Concreto disminuye los costos de mantenimiento y aumenta el período de las rehabilitaciones de los pavimentos, es así como nacieron los primeros proyectos de Sobrecapas de Concreto Hidráulico sobre pavimentos de asfalto existente; justificando el hecho de que el campo de los pavimentos ha entrado en la "Era" de la rehabilitación.

## **1.2 MARCO HISTORICO DE LA RED VIAL DE EL SALVADOR.**

La construcción y mantenimiento de la Red Vial en El Salvador se remonta a inicios del siglo XX, época en que estaba a cargo el Ministerio de Fomento dirigido por la Dirección General de Obras Públicas, a través de la sección de Caminos, Puentes y Calzadas, dejando de existir dicha sección en 1916, sustituyéndose por la Dirección General de Carreteras; en éste año se construye la que se considera la primera carretera en nuestro país, y es la que de San Salvador conduce al Puerto de la Libertad, debido a las transacciones comerciales que se daban en esa época, posteriormente a éste se construye la carretera Panamericana.

En el año de 1930 se construye la carretera Troncal del Norte que parte de San Salvador y conduce hacia la frontera con Honduras y luego nueve años después (1939) se construye la Ruta Militar que une San Miguel y Santa Rosa de Lima pasando por el Divisadero y uniendo la carretera Panamericana. Entre la década de los cuarenta e inicios de los cincuenta se construye la carretera el Litoral, creándose posteriormente en 1963 la red Centroamericana conocida

como "Programa Regional de Carreteras Centroamericanas", pero fué hasta 1969 que da inicio la construcción de la red de carreteras hacia las diferentes fronteras con los países vecinos del área centroamericana, como resultado de éste programa se tiene la carretera que llega a Anguiatú pasando por Metapán.

Es importante mencionar que las carreteras de nuestro país tenían como período de diseño 20 años y casi todas ellas tenían una superficie de tierra o empedrada, luego se incorpora el Macadam, que es el que aún conservan muchas de ellas.

Actualmente el Macadam ha sido reemplazado por el concreto asfáltico y mezclas en frío siendo la Dirección General de Caminos la entidad encargada del mantenimiento, construcción y reconstrucción de la red vial interdepartamental y rural.

En lo que respecta a las Vías Urbanas el saneamiento y pavimentación de la red vial de San Salvador dio inicio en 1912, contratando para ello a la firma inglesa S. Pearson & Sons, pero fue interrumpido por la 1ª guerra mundial y la falta de fondos. En 1921 se contrata a R.W. Hebard & Co. Inc. y René Keilhauer por un costo de más de 4.5 millones de dólares con lo cual se saneó y pavimentó 8.1 Km. Y 370 ha. de superficie, ésta porción reparada comenzaba en la antigua penitenciaría (hoy el Fondo Social para la Vivienda, en el centro de San Salvador contiguo al Parque Bolívar) terminando en la 18ª. Avenida, de Oriente a Poniente, y de Norte a Sur del Campo Marte hasta la 12ª. Calle Poniente, o sea el Cementerio de San Salvador, cubriendo una longitud pavimentada de 44 km. (ver figura 1.2.1), paralelamente se promulgan decretos legislativos tendientes a preservar los derechos de vía de la ciudad y que se encuentran vigentes actualmente como son los de la Avenida España, Calle Rubén Darío, 11ª. Avenida Norte-Sur, 1ª. Calle Oriente Poniente, 25 Avenida Norte y otras.

El saneamiento y pavimentación de San Salvador entre los años 1921 y 1928 es el más importante avance en materia de pavirmentos ya que se realizó la primer clasificación la cual consistió en :

Clase A. Asfalto sobre una base de concreto hidráulico de 6"

Clase B. Asfalto sobre una base de concreto hidráulico de 4"

Clase C. Capa superficial de asfalto de desgaste sobre una base asfáltica de 3".

Clase D. Concreto de cemento de 6" de espesor en varias calles destinadas al servicio de carreteras y vías urbanas, en ésta última clase el concreto tenía una proporción de 1:2:4 o 1:3:6, quedando pavimentadas así, muchas de las vías urbanas utilizando concreto hidráulico, especialmente en el área del centro de San Salvador, posteriormente muchas de éstas vías fueron cubiertas por capas de asfalto quedando pocas evidencias referentes a la utilización de concreto hidráulico en vías urbanas, posteriormente en la década de los 60 y 70 se construyeron redondeles, calles, avenidas e intersecciones de avenidas y calles, utilizando losas de Concreto Hidráulico de espesores que varían entre 15 y 20 cm. los cuales en la actualidad se encuentran en buen estado. Dichos proyectos se encuentran ubicados en:

- Redondel de Fuente Luminosa, en la 25 Avenida Norte (hoy Avenida Dr. José Gustavo Guerrero) y la 21ª Calle Poniente (ver figura 1.2.2).
- 4ª Calle Poniente, costado Sur del Palacio Nacional (tramo de 500 metros, ver figura 1.2.3).
- En la 2ª Calle Oriente, en Santa Tecla (ver figura 1.2.4).
- Redondel del Reloj de Flores, en la Avenida Peralta y la 24ª Avenida Norte (ver figura 1.2.5).
- Redondel del Cine Variedades, en Calle San Antonio Abad y 39ª Avenida Norte.
- Redondel de Plaza José Martí, en la 5ª Avenida Norte y Boulevard Tutunichapa.
- La 49ª Avenida Sur frente al Estadio Flor Blanca.
- La 24ª Avenida Norte, frente al Mercado La Tiendona.
- En Soyapango, Calle que conduce a Tonacatepeque y que termina en Calle Franklin D. Roosevelt.
- 3ª Calle Poniente, costado Norte de La Lotería Nacional (tramo de 500 metros).
- Avenida España (frente a Lotería Nacional) tramo de 100 metros.
- Boulevard Tutunichapa, 500 metros al Poniente del Centro Judicial Isidro Menéndez.

FIGURA 1.2.1

PLANO DE LA CIUDAD DE SAN SALVADOR.  
PERIMETRO DE LAS OBRAS CONTRATADAS



1924

AREA 3.785.200 M2

Algunos de ellos se ilustran a continuación:

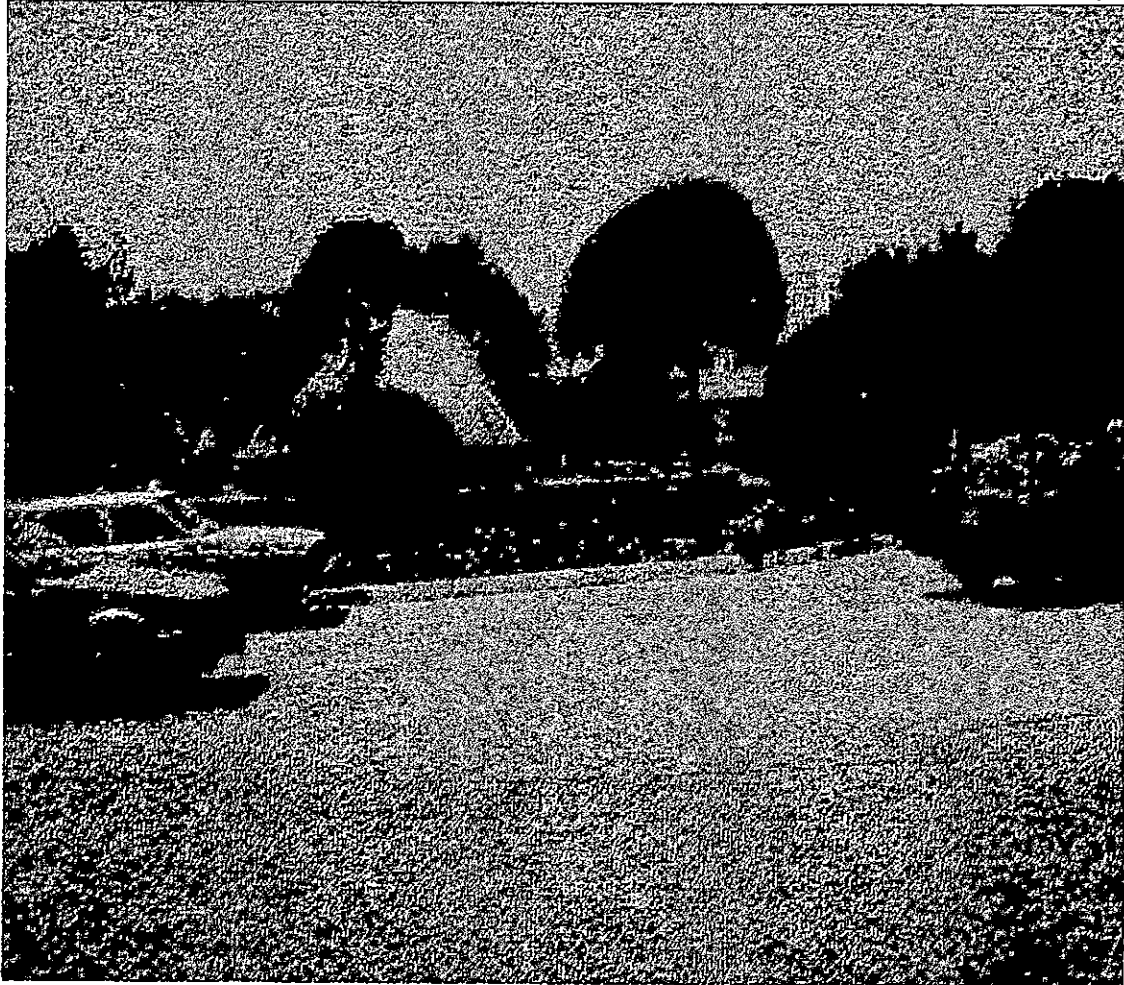


Fig. 1.2.2 REDONDEL FUENTE LUMINOSA

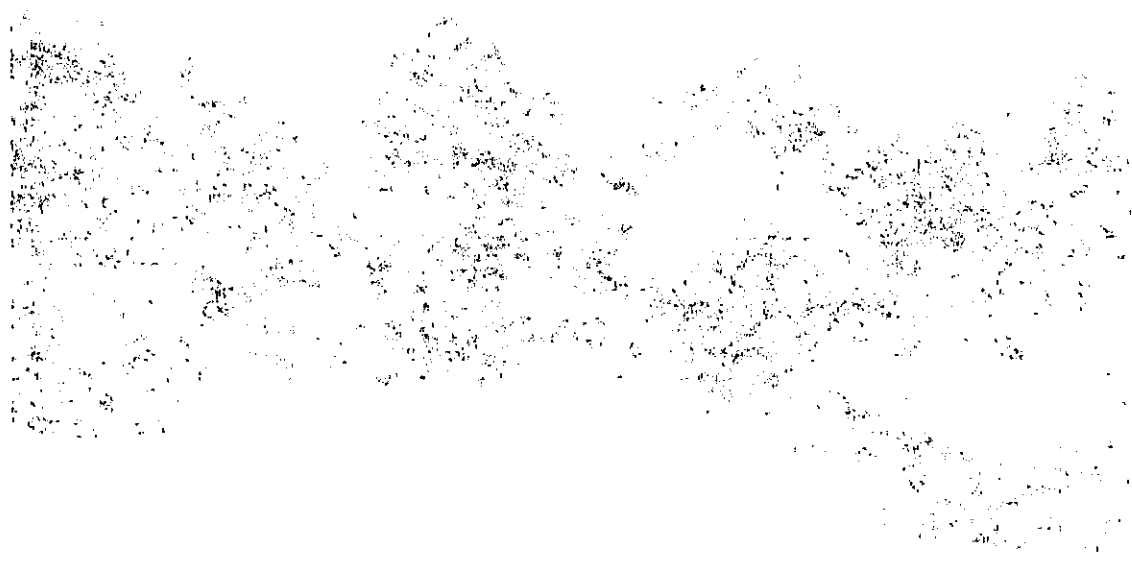




Fig. 1.2.3 4ª CALLE PONIENTE (CENTRO DE SAN SALVADOR)

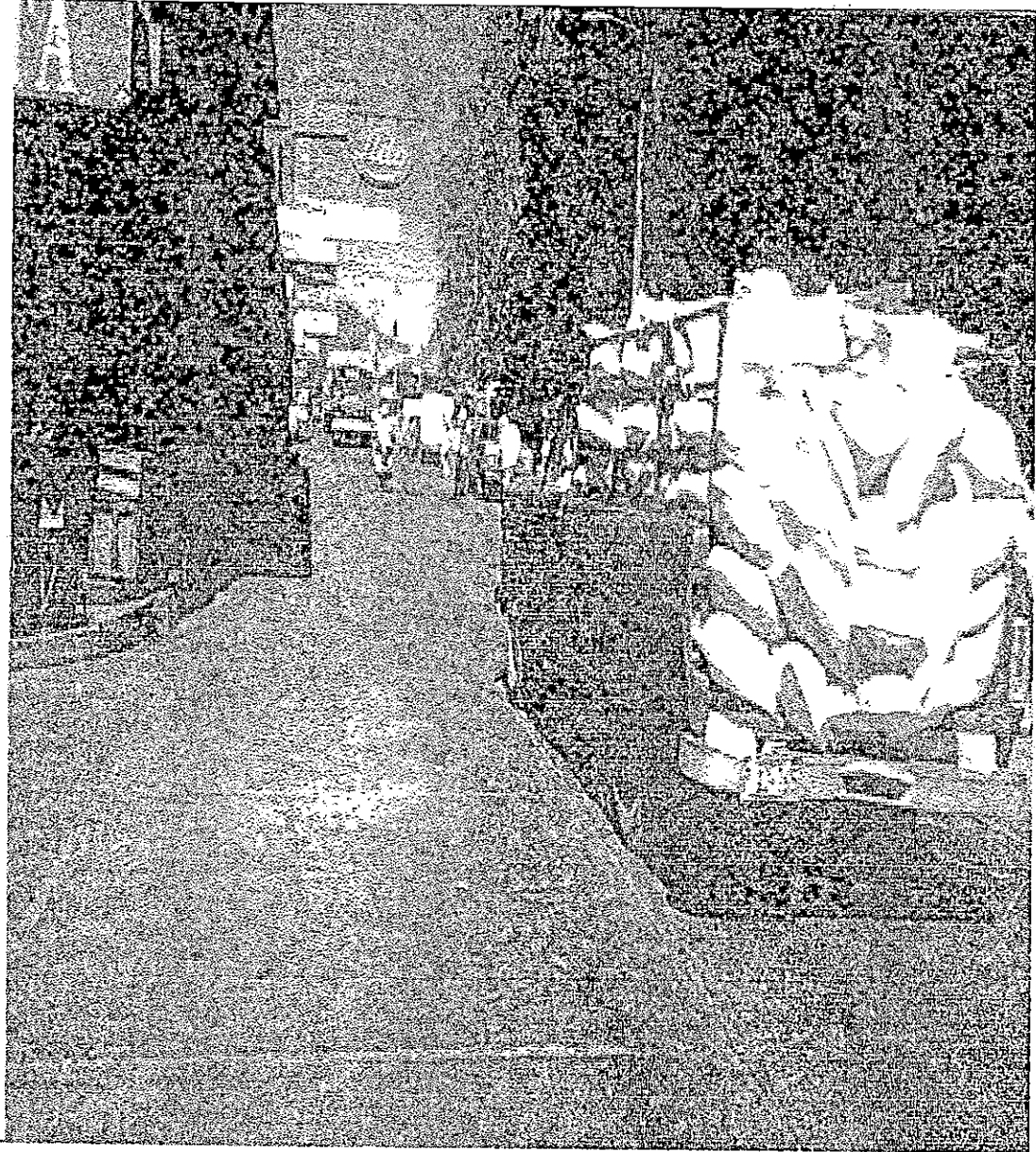


Fig. 1.2.4 2ª CALLE ORIENTE (SANTA TECLA)

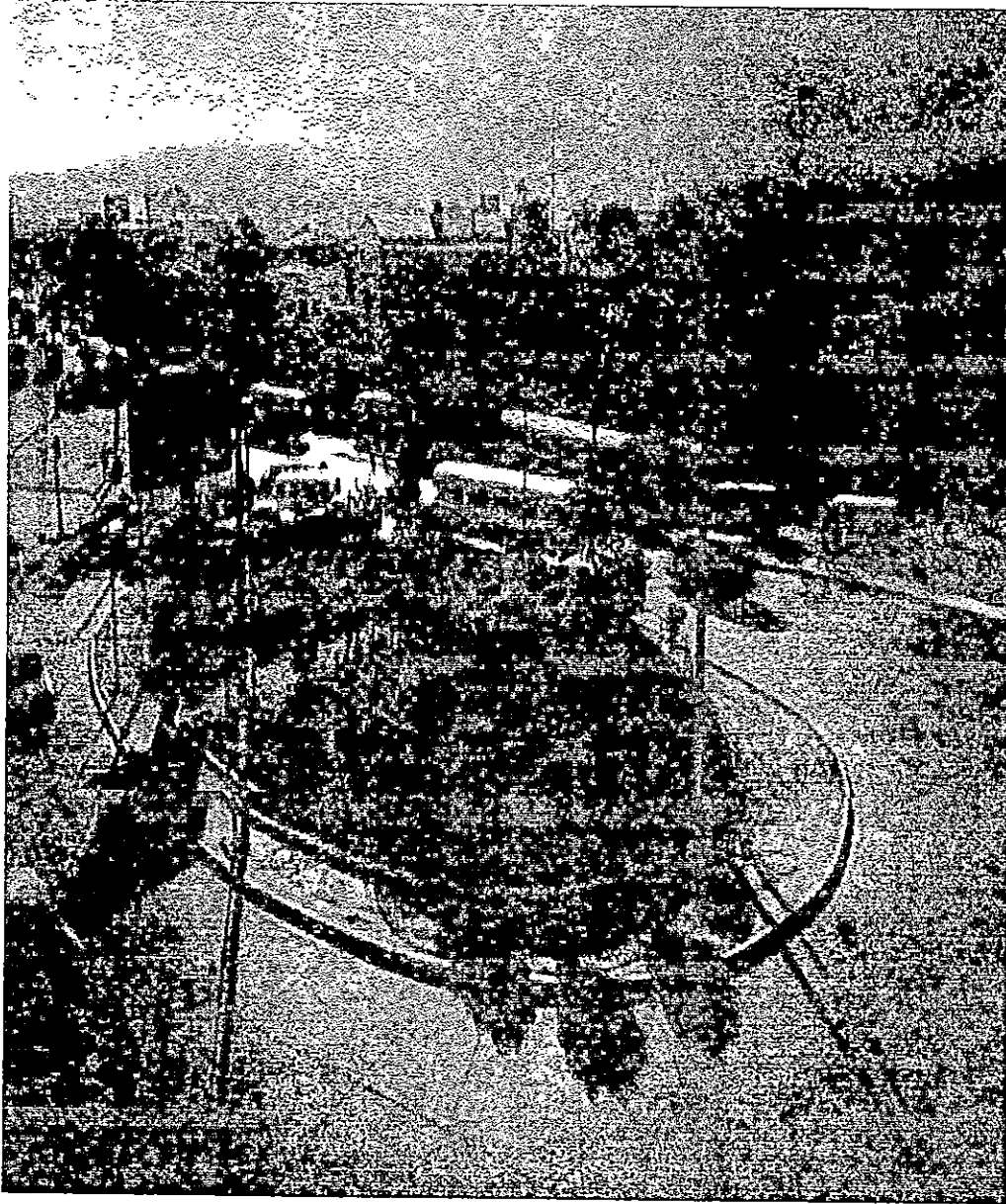


Fig. 1.2.5 REDONDEL DEL RELOJ DE FLORES

Posteriormente surgió el primer esfuerzo formal para elaborar un "Plan Regulador para San Salvador", que dio inicio en 1954, bajo la coordinación de la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura y la asesoría de dos arquitectos urbanistas de las Naciones Unidas. Dicho plan recomendaba: alineamiento de calles, zonificación, anteproyecto de plan vial, propuesta para un centro cívico y otros proyectos de diseño urbano relativos a conjuntos de instituciones.

Como resultado de lo anterior en 1956, se preparó un plan vial, detallando alineamientos para calles nuevas y existentes de San Salvador y alrededores, que sirvió de guía al Ministerio de Obras Públicas para su ejecución y en cierta forma para ordenar el crecimiento de la ciudad.

En este plan vial se diseñaron calles aun existentes como son: 3ª. y 5ª. Avenida Norte, 3ª. Y 7ª. Calle Poniente, Boulevard de los Héroes, Autopista Sur, Autopista Norte y Boulevard Tutunichapa.

En la década de los 60 se realizó uno de los más grandes estudios sobre el desarrollo urbano el cual fué denominado "METROPLAN 80"; este estudio trató de ligar el desarrollo de las actividades urbanas con el transporte y siendo un estudio integral identificó las diferentes deficiencias de la Red Vial de esa época, proponiendo un sistema de vía rápida, así como también las necesidades de los servicios de transporte; todo esto dentro de un marco de actividades que fué denominado "Plan General de Zonificación".

Los resultados de este estudio determinaron los lineamientos generales para la administración del desarrollo urbano del Area Metropolitana de San Salvador y fué utilizado para regir todas las actividades que se realizaron posteriormente a la época en que se realizó dicho estudio.

En el año de 1975 se inicia la construcción de un conjunto de proyectos del Sistema Vial Primario (propuesto por Metroplan 80) que tiene como objetivos la Planificación del Transporte metropolitano, en los componentes: redes de servicio y mejoramiento del transporte colectivo. Entre estos proyectos están: Boulevard Venezuela, Diagonal Universitaria, Calle alrededor del Mercado Central, Circunvalación, Boulevard Universitario, 24ª Avenida Norte y Calle Concepción, etc.

El Plan General de Zonificación entró en vigencia, pero en lo relativo a los estudios de transporte con el fin de actualizar la Red Vial se realizó en el año 1978, con el nombre de Autopistas Metropolitanas, el cual tomando en cuenta las recomendaciones del Metroplan 80, definió el tratamiento a dar en la red Vial existente. Este estudio tuvo como resultado la propuesta de un sistema denominado Sistema 10-4, el cual está constituido por la Autopista Este-Oeste y 21 proyectos viales con sentido Norte-Sur.

Conforme se estudiaron cada uno de los corredores, se llegó a determinar que el estudio de Autopistas Metropolitanas, por haber sido realizado en base a una encuesta domiciliar, no determinó la cantidad verdadera de viajes que se realizaban en el Area Metropolitana de San Salvador, por lo que se hizo necesario realizar posteriormente un estudio de calibración, que fué realizado en 1980 por el Ministerio de Obras Públicas, el cual fué denominado Plan Maestro del Area Metropolitana de San Salvador. Este estudio tomando como base el de Autopistas Metropolitanas, amplió la encuesta domiciliar realizada en éste, con una encuesta de pantalla, con lo cual se llegó a determinar que el movimiento de personas en el Area Metropolitana de San Salvador para el año de 1980 era de un millón y medio de viajes; lográndose con esto ampliar la Red Vial propuesta en el estudio de Autopistas Metropolitanas y crear nuevos corredores, muchos de estos proyectos fueron: la prolongación de la 75ª Avenida Norte-Sur, la Avenida Bernal, el Boulevard San Antonio Abad ó Constitución, la prolongación de la 3ª y 7ª Calle Poniente, etc.

En 1989 se realiza el "Plan de Transporte", el cual plantea las necesidades del transporte al año 2010. La diferencia entre éste último y el estudio de las Autopistas Metropolitanas, estriba en que el Plan de Transporte basa sus propuestas en la construcción de Anillos Periféricos y no de Autopistas que atraviesen el Area, como lo plantea las Autopistas Metropolitanas. En 1995 se desarrolló un estudio de la Optimización Intermodal del Sistema de Transporte, el cual también apoya la idea de estructurar el Sistema en forma de Anillos Periféricos.

En la actualidad la planificación del transporte y la Red Vial está regida por todos los

lineamientos propuestos en "PLAN MAESTRO DEL TRANSPORTE VEHICULAR EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)", que fué elaborado por la firma Israelí TAHAL CONSULTORING ENGINEERS LTD. que deberá dar respuestas a las necesidades futuras del Sistema de Transporte hasta el año 2015, además proporcionar elementos de juicio para evaluar los planes viales desarrollados hasta la fecha.

Es importante hacer mención que en la actualidad es la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura (DUA) la entidad encargada del mantenimiento, construcción y reconstrucción de la red vial dentro del área metropolitana de San Salvador.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Según datos proporcionados por la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (DUA), el 70% de las vías urbanas de San Salvador, está compuesta por pavimentos flexibles<sup>3</sup>, las cuales ya cumplieron su periodo de diseño, por lo tanto el deterioro del pavimento es más visible en toda la red vial; ocasionando en la actualidad grandes inversiones para el Estado a través de las instituciones encargadas de su mantenimiento.

En la ciudad de San Salvador el deterioro de la red vial se encuentra clasificada en el rango de regular a buena y crecerá debido a los siguientes factores:

- Aumentos significativos en los volúmenes y cargas de tráfico.
- Deficiencias en los drenajes
- La edad
- Fugas de aguas en tuberías.

Dando lugar con ello a un incremento en los costos de mantenimiento para que estén en condiciones transitables, esto repercute además en los costos de operación y por tanto en los del usuario, reflejado en el deterioro de los vehículos, mayor consumo de combustible, repuestos y pérdida de tiempo para poder transitarlas.

---

<sup>3</sup>Tomado del programa de rehabilitación y mejoramiento den vías urbanas de la D.U.A.

Ante lo expuesto se plantea la necesidad de buscar otras soluciones técnicas para poder mantener y rehabilitar las carreteras y calles pavimentadas a partir de una tecnología que minimice los costos y tenga una mayor durabilidad. Para tal efecto en el presente trabajo se presenta una propuesta a través del método de Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico para cumplir con dicho objetivo.

#### **1.4 OBJETIVOS.**

##### **1.4.1 Objetivo General.**

Proponer tecnologías de Sobrecapas de Concreto Hidráulico Ultradelgadas, para la Rehabilitación Superficial de Pavimentos Flexibles en Vías Urbanas de San salvador.

##### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Aplicar Métodos Directos, así como también los procedimientos a realizar para evaluar el estado actual de los Pavimentos Flexibles, en un tramo representativo de las Vías Urbanas de San Salvador con la finalidad de obtener parámetros útiles en el Diseño de la rehabilitación de dichas vías con Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico (5 a 10 cm).
- Proponer el tipo de tecnología de Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico según las condiciones y cargas de servicio a que está sometido el tramo representativo de las vías urbanas de acuerdo a los criterios de los Métodos de Diseño A.A.S.T.H.O. y P.C.A.
- Realizar un tramo experimental de 50 a 100 metros, si las Empresas consultadas proporcionan el apoyo Técnico-económico ofrecido.

## **1.5 ALCANCES**

El proyecto se desarrollará hasta la Etapa de Diseño (nivel teórico), dejando la posibilidad de realizar un tramo experimental aplicando la Tecnología de Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico Simple, si alguna Empresa proporciona el apoyo Financiero prometido.

## **1.6 DELIMITACIONES.**

La presente investigación se realizará para la Red Vial Urbana de San Salvador, teniendo en cuenta que las exigencias de transporte en Nuestro País crecen constantemente.

La alternativa de solución se basará en las condiciones actuales que presenta nuestra Red Vial, contando con la información Técnica (datos de carga vehicular, informe del Plan Maestro del Transporte Vehicular en el Area Metropolitana de San Salvador) que nos proporcionará la Dirección General de Caminos (D.G.C.), así como también los datos del Valor Relativo de Soporte (CBR) que serán proporcionados por Consultora Técnica S.A. ( CONTECSA), datos de Volúmenes de Tráfico que serán proporcionados por el Viceministerio de Transporte, información técnica que será proporcionada por la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (Diagnostico de Red Vial Urbana e informes sobre el mantenimiento de las Vías Urbanas), contando además con el apoyo Técnico-económico en algunos casos del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (I.S.C.Y.C).

## **1.7 JUSTIFICACION.**

Los Pavimentos a base de Estructuras de Concreto Hidráulico ha demostrado las cualidades siguientes: durabilidad, ganancia de resistencia con el tiempo, compatibilidad con el agua y además fácil manejo. Ejemplo de ello puede observarse en la 49 avenida Sur frente al Estadio Flor Blanca, redondel de Fuente Luminosa, Redondel de la Plaza José Martí, etc. que han demostrado tener una vida útil mayor de 20 años sin incurrir en frecuentes mantenimientos.

Es por ello que se considera importante realizar la presente investigación, la cual permitirá presentar una propuesta fundamental en la tecnología: Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto Hidráulico, cuyos espesores varían entre 5 a 10 cm. con lo que se pretende beneficiar a los sectores:

- Instituciones Gubernamentales como la Dirección General de Caminos (D.G.C.) y la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (D.U.A.), dotándoles de una herramienta que les permita poner en práctica la Tecnología antes mencionada, que les reduzca sus costos de operación y mantenimiento en la rehabilitación Superficial de pavimentos Flexibles (Recarpeteo).
- A Empresas Nacionales Productoras de Cemento y Concreto y al Estado evitando fuga de divisas y de esta forma reactivar la Economía Nacional.
- A los usuarios ahorrándoles tiempo en su recorrido y deterioro de sus vehículos.
- Al Medio Ambiente reduciendo la contaminación porque el Concreto Hidráulico, no representa ningún peligro Ambiental en su manejo.
- A la sociedad en general, dotándoles de una mejor Red Vial
- A la Empresa Privada, dotándoles de una herramienta para reparar sus parqueos de carga.

## **1.8 METODOLOGIA DE TRABAJO**

La metodología de trabajo a seguir, se basará en la investigación bibliográfica y de campo.

A partir del problema ya definido se realizará:

1. Una investigación bibliográfica en: Enciclopedias, Diccionarios, Manuales, Textos, Tesis, Trabajos de graduación realizados en distintas Universidades, revistas, seminarios, folletos, periódicos, también se realizará investigación bibliográfica por medio de Internet y correo electrónico.

2. Entrevista a profesionales para establecer las diferentes formas de solucionar el problema.  
En las entrevistas a profesionales habrá que seleccionar las personas a entrevistar tomando en cuenta la experiencia de ellas en el tema.

#### PROCEDIMIENTOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION:

- Lectura general: Para una ubicación del tema en estudio
- Técnica: Lectura de los temas seleccionados en forma general clasificando las obras de acuerdo a los tópicos a desarrollar.
- Visita a organismos gubernamentales o no gubernamentales: para conocer el manejo actual y dificultades presentes en el mantenimiento de las vías urbanas de San Salvador.
- Técnica: Entrevista a profesionales del área especializada.
- Estudio de la información recopilada tanto bibliográfica como proporcionada por profesionales, depurando y clasificando adecuadamente.
- Técnica: Conformar la información obtenida, ordenándola y clasificándola de acuerdo al contenido del trabajo de graduación.
- Redacción cuidadosa y ordenada de la información seleccionada y compilada a través de todo el proceso de investigación.

#### 1.9 PLANIFICACION DE RECURSOS A UTILIZAR.

- a) La bibliografía a utilizar será referente al libros sobre pavimentos de concreto asfáltico e hidráulico y suelos, criterios de diseño AASTHO y PCA.  
Proporcionados en algunos casos por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).
- b) Inventario del equipo existente en el laboratorio de suelos y materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador y evaluación del equipo necesario a utilizar.

- c) Concertar cita a profesionales que tengan conocimientos sobre suelos, materiales, pavimentos de concreto asfáltico e hidráulicos, con el objeto de entrevistarlos y así conocer sus opiniones.
- d) Se proyecta trabajar conjuntamente con el personal de la Dirección General de Caminos (DGC), Consultora Técnica (CONTECSA), en la utilización de los equipos para conocer el Valor Relativo de Soporte (CBR), y poder determinar por medio de correlaciones el Modulo de Reacción, en la evaluación del pavimento existente del tramo experimental.
- e) Se proyecta contar con el apoyo logístico, equipo y personal de las empresas interesadas en la construcción del tramo experimental.

# **CAPITULO II**

## **REVISION DE CONCEPTOS TECNICOS**

## **2.0 SITUACION ACTUAL DE LA RED VIAL URBANA Y EL MANTENIMIENTO**

### **TRADICIONAL**

Con la Finalidad de tener un panorama claro del estado actual de las Vías Urbanas del Area Metropolitana de San Salvador, la Dirección de Urbanismo y Arquitectura ha preparado un diagnostico en el cual se realizó una evaluación exhaustiva de las vías, el cual clasificó el grado de deterioro en tres categorías:

- Buena: Vías que necesitan mantenimiento menor o de rutina y exigen gastos inmediatos.
- Regular: Calles que requieren mantenimiento preventivo tal como Sobrecapas y Sellados
- Mala: Calles que necesitan trabajos grandes de rehabilitación o de reconstrucción.

Basándose en la clasificación anterior, se obtuvieron para la Red Vial del AMSS los siguientes datos:

- 358.69 Km de pavimento asfáltico en estado de regular a bueno.
- 58.69 Km Adoquinados en estado de malo a regular.
- 29.84 Km de pavimentos hidráulico en estado de regular a bueno.
- 59.69 Km empedrados en estado malo.

Otro aspecto importante que se da a conocer en este diagnostico es que la vida útil de las vías ha finalizado y que la mayoría de daños existentes son a nivel estructural.

### **2.1 TIPOS Y FUNCIONES DE LAS VIAS URBANAS.**

Las funciones que deben atender las vías urbanas de San Salvador son varias y están centradas en términos de movilidad y accesibilidad que puede ser de personas y mercancías que deben realizarse de forma rápida, confortable y segura contando con acceso directo a las distintas zonas o usos del área colindante.

En términos generales, las carreteras y calles urbanas pueden clasificarse funcionalmente en cuatro grandes grupos:

- **AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS:** Las autopistas son las que facilitan el movimiento rápido de grandes volúmenes de tráfico entre áreas, a través o alrededor de la ciudad o área urbana. Son divididas con control total de sus accesos y sin comunicación directa con las propiedades colindantes. Una autopista tiene separación total de los flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel, pero puede ser la etapa anterior de una autopista. Estos dos tipos de arterias forman parte del sistema o red vial primaria de un área urbana.
- **CALLES PRINCIPALES:** Son las que permiten el movimiento del tráfico entre áreas o partes de la ciudad, proporcionan servicio directo a los generadores principales de tráfico, y se conectan con el sistema de autopistas y vías rápidas. Con frecuencia son divididas y pueden tener control parcial de sus accesos, las calles principales se combinan entre sí para formar un sistema que mueve el tráfico en toda la ciudad, en todas las direcciones.
- **CALLES SECUNDARIAS (COLECTORAS):** Son las que conectan las calles principales con las calles locales, proporcionando a su vez acceso a las propiedades colindantes.
- **CALLES LOCALES:** Proporcionan acceso directo a las propiedades, sean estas residenciales, comerciales, industriales o de algún otro uso; además de facilitar el tráfico local. Se conectan directamente con las calles secundarias y/o con las calles principales.

## **2.2 ELEMENTOS QUE INTEGRAN UNA VIA URBANA.**

En forma general, los componentes de una vía urbana se pueden agrupar dentro de lo que es el derecho de vía, a saber: superficie de rodamiento, drenaje, acera, arriate, etc.

Dichos elementos se mencionan a continuación:

Ancho de rodaje

Cunetas y contracunetas

Sección transversal típica:	Talud Partes complementarias Derecho de vía.
Alineamiento:	Alineamiento horizontal Alineamiento vertical.
Superficie de rodamiento:	Pavimentos Rígidos Pavimentos Flexibles.
Drenaje:	Drenajes Superficiales Sub-drenajes.
Dispositivos del control del transito vehicular	Señalamiento Vertical Señalamiento Horizontal Semáforos.
Servicios y accesos	Instalaciones Marginales Accesos.  Carriles de aceleración Carriles de desaceleracion
Varios:	Rampas Intersecciones Paisaje.

## **2.3 ANALISIS DEL TRAFICO EN LAS VIAS URBANAS DE SAN SALVADOR.**

Cuando se proyecta el diseño ó mejoramiento de una carretera o calle el tráfico es la variable más importante y fundamental porque nos proporciona datos sobre volumen de tráfico o la demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, su variación, su tasa de crecimiento y composición.

### **2.3.1 Revisión de conceptos técnicos relacionados con la ingeniería de tránsito.**

- **Volumen de tráfico:**

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, en un carril o de una calzada, en un intervalo de tiempo dado; siendo los intervalos más usados: la hora y el día. Se expresa como:  $Q = N/T$

donde :  $Q$ = Vehículos que pasan por unidad de tiempo. Vehículo/Tiempo.

$N$ = Numero total de vehículos que pasan (vehículos).

$T$ = Periodo determinado (unidades de tiempo).

- **Volúmenes de tráfico absolutos o totales:**

Es el número total de vehículos que pasan durante el lapso de tiempo determinado. De acuerdo a la duración del lapso de tiempo determinado se clasifican en:

Tráfico Anual: (T.A.) es el número total de vehículos que pasan durante un año.

Tráfico Mensual: (T.M.) es el número total de vehículos que pasan durante un mes.

Tráfico Semanal: (T.S.) es el número total de vehículos que pasan durante una semana.

Tráfico Diario: (T.D.) es el número total de vehículos que pasan durante un día.

Tráfico Horario: (T.H.) es el número total de vehículos que pasan durante una hora.

Tasa de Flujo o Flujo: ( $q$ ) es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora.

- **Volúmenes de tráfico promedio diario:**

Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual ó menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo. De acuerdo al número de días se clasifican en:

Tráfico promedio diario anual (TPDA)  $TPDA = TA/365$

Tráfico promedio diario mensual (TPDM)

$TPDM = TM/30$

Tráfico promedio diario semanal (TPDS)

$TPDS = TS/7$

- **Volúmenes de tráfico horarios:**

De acuerdo a la hora seleccionada, se definen los siguientes volúmenes de tráfico horarios, dados en vehículos por hora.

- **Volumen horario máximo anual (VHMA):** Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril, durante un año determinado. Es decir, es la hora de mayor volumen de las 8760 horas del año.

- **Volumen horario de máxima demanda (VHMD):** Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril durante 60 minutos consecutivos. Representa los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día particular.

- **Volumen horario del proyecto (VHP):** Es el volumen de tránsito horario que servirá para determinar las características geométricas de la carretera o vía.

- **Densidad de tráfico:**

Es el número de vehículos que se encuentran en cierta longitud de camino en un instante dado.

- **Tráfico máximo horario:**

Es el máximo número de vehículos que pasan en un tramo del camino durante una hora. Para un lapso de observación de generalmente 1 año.

- **Tráfico generado:**

Es el volumen de tráfico que se origina por la construcción o mejoramiento de una carretera y/o desarrollo de la zona donde cruza.

- **Tráfico desviado o inducido:**

Es la parte del volumen de tráfico que circulaba antes por otras carreteras y cambia su itinerario para pasar por lo que se construye o se mejora.

### **2.3.2 Ajuste de Volúmenes de Tráfico.**

En la mayoría de vías, no siempre se dispone de toda la información de los volúmenes de tráfico a través de ciertos períodos de tiempo, por lo tanto es necesario determinar factores de expansión y ajuste que nos permitan conocer la variación y comportamiento de los volúmenes de tráfico, obteniéndose estos factores mediante aforos continuos que proporcionan la información con respecto a los patrones de variación horaria, periódica o anual del tráfico.

El ajuste que con mayor frecuencia se usa, consiste en transformar un aforo de 24 horas de un día y mes específicos, transformando un volumen de tráfico promedio diario (TPD), obteniéndose esto mediante la siguiente formula:

$$TPD = \frac{TD}{FH} \times Fm \times Fd.$$

Donde: Fm = factor de ajuste mensual.

Fd = factor de ajuste diario.

FH = factor horario.

### **2.3.3 Estudios de origen y destino de los viajes.**

El estudio de origen y destino es la base de los estudios de volumen de tráfico ya que este muestra antecedentes con respecto al movimiento de traslado de las personas y de los bienes o productos realizado en vehículos motorizados.

Este tipo de traslado motorizado puede ser:

- Sobre las trayectorias que siguen los vehículos agrupados sistemáticamente.
- sobre los puntos de partida y de llegada de tales trayectorias.
- Sobre la hora en que el movimiento de traslado se hace y.
- Sobre su propósito.

Es decir, el estudio de origen y destino esta diseñado para recolectar información acerca del tipo y numero de viajes, incluyendo movimientos de vehículos y pasajeros desde un origen hasta un destino específico. El estudio de origen y destino es conocido como O-D. Los estudios de O-D se utilizan generalmente para el proceso de planificación del tráfico y del transporte, que requiere la evaluación de la demanda de transito que necesiten las redes viales y los medios de transporte para realizar mejoramientos o la construcción de nuevos sistemas viales. Estos estudios están orientados hacia el transporte de personas, cuyo traslado en vehículos motorizados constituyen lo que se denomina VIAJE, concepto que caracteriza el movimiento de las personas y que tiene su origen en las múltiples actividades de estas. El viaje como habito, es, se repite y por lo tanto tiene particularidades bastantes definidas.

#### **2.3.3.1 Características de los estudios de origen y destino.**

Modalidades de los estudios de O-D.

- Por la naturaleza de los movimientos.
  - a) Viajes de personas.
    - i) Individualmente transportados.
    - ii) Colectivamente transportados.

b) Traslado de cosas transportadas en vehículos comerciales o especiales.

- De acuerdo a la dirección de los viajes con respecto a un área determinada, estos pueden referirse a movimientos:

a) De ingreso.

b) De pasado.

c) De egreso.

O-D en cordón externo: Se registra los viajes de personas o el traslado de cosas aprovechando la realización de sus movimientos de entrada o de salida en un área determinada realizando entrevistas en estaciones de encuesta, en secciones de arterias que acceden al área urbana de la ciudad.

O-D en cordón interno: Este se lleva acabo en áreas específicas, es decir, en el área central de una ciudad, en áreas de centros comerciales y servicios, etc.

O-D en cordón externo-interno: Cuando se realiza el estudio de origen y destino (O-D) se pueden realizar de acuerdo al lugar y otras modalidades en:

- **Vía pública:** Entrevistas indirectas.

Registro de placas.

Distintivos en vehículos.

- **En las viviendas:** Encuesta.
- **Por correspondencia:** Tarjetas postales.

### **2.3.3.2 Aplicaciones de los estudios de origen y destino.**

- 1- Nos proporciona la demanda que existe dentro de una ciudad para usar, en mayor o menor grado, ciertas calles.
- 2- Nos ayuda a localizar la ubicación óptima de uno o varios pasos de una barrera natural.
- 3- Es de gran utilidad para desviar el movimiento vehicular liviano y pesado fijando ruta a través de la ciudad

- 4- Sirve para hacer la localización más conveniente en un sistema vial de una reparación o construcción de un camino.
- 5- Nos permite realizar el mejor trazo para el paso de un camino, ya sea por dentro o fuera de la población.
- 6- Nos sirve para poder proyectar volúmenes de tráfico futuros y de esta forma justificar y diseñar la construcción de un camino nuevo.

#### **2.3.3.3 Métodos para la recopilación de datos en los estudios de O-D.**

- 1- Encuesta a conductores.
- 2- Método de tarjeta postal.
- 3- Identificación de placas.
- 4- Etiqueta sobre el vehículo.
- 5- Placa del vehículo estacionado.
- 6- Encuesta a domicilio.
- 7- Cuestionario postal a propietarios de vehículos a motor.
- 8- Cuestionario de empleado.
- 9- Cuestionario para terminal de transporte.
- 10- Cuestionarios del pasajero del transporte público.
- 11- Método de síntesis.
- 12- Estudio integral de origen y destino.

#### **2.3.4 Volúmenes del tráfico actual.**

Los estudios sobre volúmenes de tráfico son realizados con el objetivo de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Dichos datos de volúmenes de tráfico son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios.

#### **Uso de los volúmenes de tráfico.**

De una manera general, los datos sobre volúmenes de tráfico se utilizan ampliamente en los siguientes campos.

##### **1- Planeación.**

- Clasificación sistemática de redes de carreteras.
- Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tráfico.
- Modelos de asignación y distribución de tráfico.
- Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades.
- Análisis económicos.
- Estimaciones de la calidad del aire.
- Estimaciones del consumo de combustible.

##### **2- Proyecto.**

- Aplicación a normas de proyecto geométrico
- Requerimientos de nuevas carreteras.
- Análisis estructural de superficies de rodamiento.

##### **3- Ingeniería de tránsito.**

- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades.
- Caracterización de los flujos vehiculares.
- Zonificación de velocidades.
- Necesidades de dispositivos para el control del tráfico.

- Estudio de estacionamiento.

#### 4- Seguridad.

- Calculo de índices de accidentes y mortalidad.
- Evaluación de mejoras por seguridad.

#### 5- Investigación.

- Nuevas metodologías sobre capacidad
- Análisis e investigación en los campos de los accidentes y seguridad.
- Estudios sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tráfico.
- Estudios de antes y después.
- Estudios sobre el medio ambiente y la energía.

#### 6- Usos comerciales.

- Hoteles y restaurantes.
- Urbanismo.
- Autoservicios.
- Actividades recreacionales y deportivas.

Los volúmenes de tráfico se pueden utilizar para lo siguiente, siempre y cuando se expresen en la unidad de tiempo específico:

#### 1- Los volúmenes de tráfico anual (TA).

- Determinar los patrones de viaje sobre áreas geográficas.
- Estimar los gastos esperados de los usuarios de las carreteras.
- Calcular índices de accidentes.
- Indicar las variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito, especialmente en carreteras de cuota.

## **2- Los volúmenes de tráfico promedio diario (TPD).**

- Medir la demanda actual en calles y carreteras.
- Evaluar los flujos de tráfico actuales con respecto al sistema vial.
- Definir el sistema arterial de calles.
- Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes.
- Programar mejoras capitales.

## **3- Los volúmenes de tráfico horario (TH).**

- Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda.
- Evaluar deficiencias de capacidad.
- Establecer controles en el tráfico, como: colocación de señales, semáforos y marcas viales, jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tráfico; y prohibición de estacionamientos, paradas y maniobras de vueltas.
- Proyectar y rediseñar geométricamente calles e intersecciones.

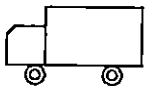
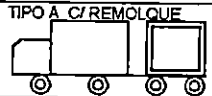
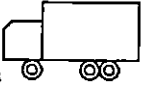
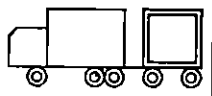
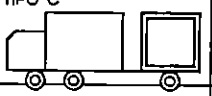

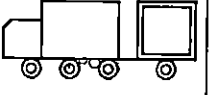
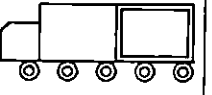
## **4 – Las tasas de Flujo (q).**

- Analizar flujos máximos.
- Analizar variaciones del flujo dentro de las horas de máxima demanda.
- Analizar limitaciones de capacidad en el flujo de tráfico.
- Analizar las características de los volúmenes máximos.

### **2.3.5 Clasificación de vehículos.**

La determinación de la carga máxima por eje, es un factor de mucha importancia para el diseño sobrecapas para pavimentos existentes, así como la frecuencia a la que esta sometido el carril de diseño y las cargas actuales y futuras a que estará sometido el pavimento. Por lo tanto se presentan las figuras 2.3.5.1 y 2.3.5.2, donde aparecen los tipos de vehículos y que puede utilizarse para el análisis del tráfico.

Figura 2.3.5.1



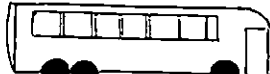

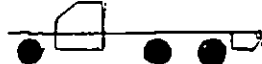
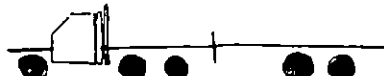
CLASE DE VEHICULO	DIMENSIONES MAXIMAS			CARGA MAXIMA POR EJE	CARGAS MAXIMAS POR EJES (EN MILES DE KILOGRAMOS)				
	LARGO (MTS)	ANCHO (MTS)	ALTO (MTS)		EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5
TIPO A 	10	2.30	3.80	12,000.00	4	8	-	-	-
TIPO A C/ REMOLQUE 	18.30	2.50	3.80	28,000.00	4	8	B		
TIPO B 	11.00	2.50	3.80	18,900.00	4	14.90		-	-
						7.45	7.45		
TIPO B CON REMOLQUE 	18.30	2.50	3.80	33,800.00	4	14.90		B	
						7.45	7.45		
TIPO C 	14.00	2.50	3.80	20,000.00	4	8	8	-	-
TIPO D 	14.00	2.50	3.80	26,900.00	4	8	14.90		-
							7.45	7.45	
TIPO E 	14.00	2.50	3.80	28,900.00	4	14.90		8	-
						7.45	7.45		
TIPO F 	14.00	2.50	3.80	33,800.00	4	14.90		14.90	
						7.45	7.45	7.45	7.45

FUENTE: Departamento de pesos y medidas de la D.G.C.

Nota: B: las cargas por ejes en remolque no podrá excederse, para eje aislado y llantas sencillas de 4000 kg. Para eje aislado y llantas doble de 8000 kg.

Figura 2.3.5.2

CARACTERÍSTICAS EN RELACIÓN A SUS PESOS DE  
VEHÍCULOS QUE TRANSITAN EN EL PROYECTO

TIPO DE VEHICULO	ANCHO (mts)	ALTO (mts)	DIST. ENTRE EJES (mts)	PESO POR EJES EN TONELADAS												
				VACIO						CARGADO						
				EJES						EJES						
				1	2	3	4	5	7	1	2	3	4	5	7	
 Automovil	2.14	1.87	3.00	0.80	0.80	-	-	-	1.80	1.00	1.00	1.00	-	-	-	2.00
 Pick-Up	2.14	1.87	3.00	1.30	1.20	-	-	-	2.80	1.70	3.00	-	-	-	6.50	
 Auto-Bus	2.50	2.14 - 4.12	6.75	3.00	3.50	3.50	-	-	12.00	6.50	10.00		-	-	18.50	
 Camión Mediano	2.44	2.14 - 4.12	4.40	3.80	3	-	-	-	6.50	6.50	10.00	-	-	-	18.50	
 Camión Pesado	2.50	2.14 - 4.12	4.50	4	4.50		-	-	3.8	6.50	18		-	-	23.50	
 Trailer	2.50	2.14 - 4.12	4.00 8.50	4	2	2	2	2	12.00	6.50	18		18		41.50	

FUENTE: CONSULTORA TECNICA (CONTECSA).

### **2.3.6 Composición del tráfico.**

Los volúmenes de tráfico, además de ser considerados para un proyecto así como para la operación de calles y carreteras, nos sirve para obtener porcentajes de automóviles, de autobuses y de camiones, es decir que la composición vehicular es medida en términos de porcentaje obtenidos a base del volumen total del tráfico que circula en determinada zona de estudio; para el área metropolitana de San Salvador se estima que el 85% son vehículos livianos, el 10% son buces y el 4% son camiones, esta composición se ha obtenido mediante la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características, considerando al mismo tiempo el tráfico interdepartamental que entra y sale del área metropolitana de San Salvador.

Dicha composición mencionada anteriormente se ha obtenido del Plan Maestro del Transporte Vehicular en el Area Metropolitana de San Salvador (AMSS), mediante tres líneas imaginarias que delimitan la periferia, la cual referencia la entrada o salida de la mayoría de vehículos conocidas como "Líneas de Pantalla" dentro del marco del estudio en el AMSS.

LINEA ORIENTAL: Sigue el curso del río Acelhuate. En su margen oriental se encuentran los municipios de Soyapango, Ilopango, Ciudad delgado y San Martín.

LINEA NORTE: sigue el curso de la Quebrada La Mascota. En su margen norte se encuentran los municipios de Apopa, Nejapa, Ayutuxtepeque, Mejicanos y Cuscatancingo.

LINEA SUR : Sigue el curso del arenal Tutunichapa. En su margen sur se encuentran los municipios de Santa Tecla, Antiguo Cuscatlán, San marcos y Santo Tomás.

La combinación de estas tres líneas de pantalla hace posible referirse al tráfico orientado al centro del AMSS, es decir el centro de la Ciudad de San Salvador.

Estas líneas forman un cordón cerrado alrededor del Centro del AMSS y el tráfico que cruza estas líneas de pantalla presenta la interconexión entre las cuatro áreas principales de la región metropolitana. Ver figura 2.3.6.1

Figura 2.3.6.1

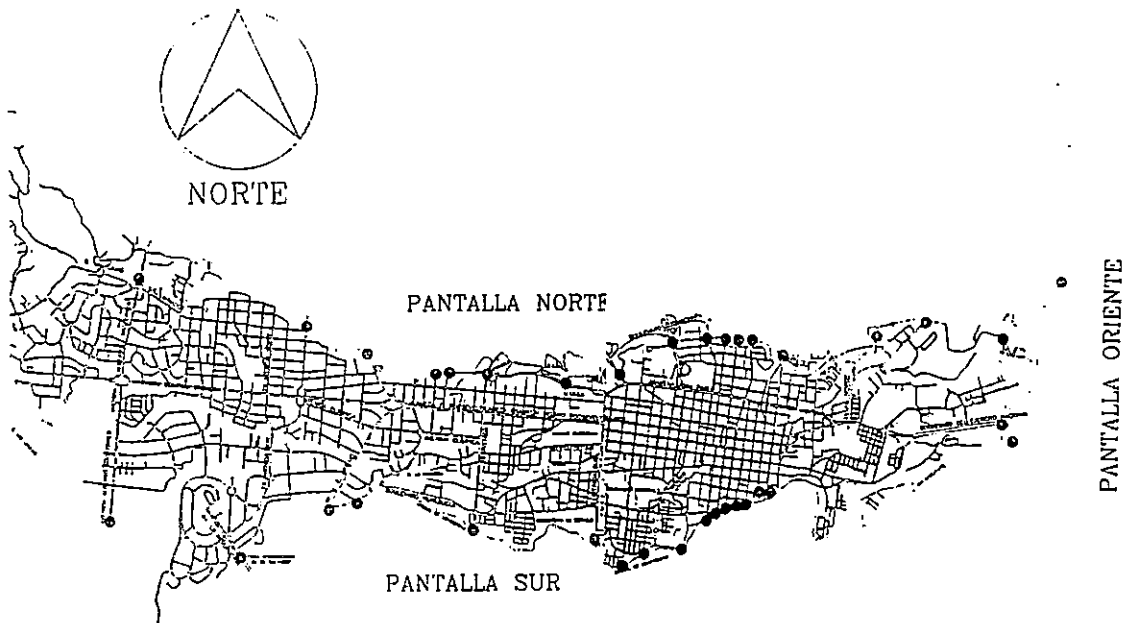


FIG.  
UBICACION DE PUNTOS DE CONTEOS  
EN LINEAS DE PANTALLA EN EL AMSS

### 2.3.7 Carga vehicular.

El control de carga, pesos y medidas nace del acuerdo Centroamericano de circulación de vehículos de carga por carreteras, suscrito por el Gobierno de la República, el 10 de junio de 1958 y ratificado por la Asamblea Legislativa por decreto No. 2778 de 14 de enero de 1959. En esta fecha no existía un reglamento jurídico que normara el volumen de carga máximo permisible para los diferentes tipos de vehículos de carga, solamente se controlaba el volumen

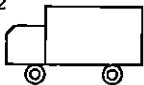

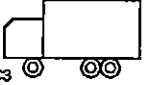
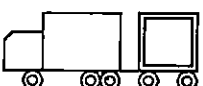
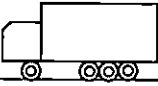
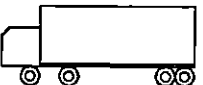

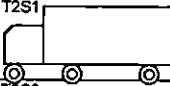
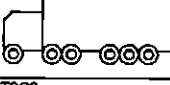
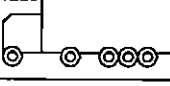
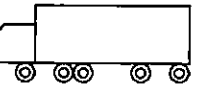
total de carga, para lograr esto fueron instaladas las primeras básculas en el Amatillo, frontera con Honduras, en el departamento de la Unión y en el puerto de Acajutla.

El 13 de diciembre de 1973, se promulgó el decreto No. 86 "REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE CARGA, PESOS Y MEDIDAS DE VEHICULOS AUTOMOTORES QUE CIRCULAN POR LAS CARRETERAS DE LA REPUBLICA"; comenzando a programar actividades tendientes a implementar el control de carga, pesos y medidas, iniciándose así en nuestro país, la regulación de la carga transportada y las medidas máximas de los vehículos de carga.

Para lograr una mejor aplicación del reglamento se instalaron 8 básculas adicionales en diferentes puntos del país las cuales eran controladas por personal de la DGC, dicho control se realizaba en base a las disposiciones contempladas en el reglamento resumidas algunas de ellas en la siguiente tabla 2.3.5.1

En 1991 se reforman algunos artículos del reglamento antes mencionado, especialmente el art. 9 donde se aumentaba la carga máxima por eje para los diversos tipos de vehículos de carga y se consideran, además, otros tipos de vehículos de carga. Todo lo anterior se puede visualizar en la siguiente tabla 2.3.7.1

**TABLA 2.3.7.1**

TIPO DE VEHICULO	DIMENSIONES		PESO TOTAL	
	ANCHO (MTS)	LONG. (MTS)	SENCILLO TON-MET	DOBLE TON-MET
TIPO C2 	2.6	11.00	13.00	
TIPO C2 C/ REMOLQUE 	2.6	18.30	23.50	27.00
TIPO C3 	2.6	12.00	21.00	
TIPO C3 CON REMOLQUE 	2.6	18.30	31.00	35.00
TIPO C4 	2.6	12.00	25.00	
TIPO T2S2 	2.6	17.00	30.00	
TIPO T3S1 	2.6	17.35	30.00	
TIPO T2S1 	2.6	12.00	23.00	
TIPO T3S3 	2.6	17.35	41.00	
TIPO T2S3 	2.6	17.35	34.00	
TIPO T3S2 	2.6	17.35	37.00	

NOTAS: 1- La altura de la unidad no excederá de 4.15 m y 2- El peso máximo permisible será menor entre el especificado por el fabricante y la Norma Centroamericana (Peso Máximo Total Autorizado).  
FUENTE: DEPARTAMENTO DE PESOS Y MEDIDAS DE LA D.G.C.

Es importante mencionar que la tabla anterior es la que se encuentra en vigencia actualmente, así como también el resto de los artículos del reglamento que no fueron reformados.

Todos éstos cambios son producto de un acuerdo regional Centroamericano donde los gobiernos del istmo acordaron aumentar la carga máxima autorizada en el transporte, debido al aumento en la movilización de la carga por las tendencias del libre comercio. En El Salvador las reformas al reglamento no han sido ratificadas por la Asamblea Legislativa, pero el MOP a través de la DGC los considera válidas y las aplica desde 1992, mientras se crea un reglamento mucho más completo acorde a las necesidades actuales.

El aumento en las cargas varía dependiendo del tipo de vehículo que se trate, para tener una idea más clara se presenta a continuación el cuadro 2.3.7.1 comparativo que muestra las cargas anteriores y las actuales.

**CUADRO 2.3.7.1**

TIPO DE VEHICULOS	PESO TOTAL MAXIMO AUTORIZADO (TON-MET)	PESO TOTAL MAXIMO AUTORIZADO (TON-MET) (REFORMAS)
C2	12	13.5
C3	18.9	21
T2S1	20	23
T2S2	26.9	30
T3S1	26.9	30
T3S2	33.8	37

La recopilación de la información del personal destacado en las diferentes básculas es remitida a la oficina encargada de la DGC, los aspectos que contiene la hoja de trabajo son los siguientes:

- Nacionalidad
- Ruta a seguir
- Pesos por eje
- Origen y destino
- Tipo de carga.

Es importante mencionar que hay varios aspectos que están contemplados en la hoja de trabajo pero no son registrados, ejemplo de ello es la presión de inflado en las llantas que está contemplado en el reglamento y especifica, que en ningún caso debe exceder de  $7 \text{ kg/cm}^2$ .

Con respecto a la transmisión de cargas al pavimento, se estima que existe variación con respecto a la distribución de carga por eje, ya que esta depende de varios factores como:

- ❖ El tipo de eje (sencillo, tandem, tridem, etc.)
- ❖ El número de pares de llantas
- ❖ El tipo de vehículo, ya sea este de carga o transporte colectivo (dependiendo en este caso de la ubicación del motor).

Para los tipos más comunes de vehículos de carga que circulan en nuestras vías, se estima que aproximadamente un 80% de su carga es transmitida y distribuida equitativamente en los ejes posteriores del vehículo, para el caso en los ejes tridem se estima que se transmite un 26.67% por eje individual, completando el 80% en los tres ejes; obteniéndose un comportamiento similar en los ejes tandem y sencillos.

Es importante hacer mención que en ciertos tipos de vehículos de carga y transporte colectivo existe un incremento de carga en el eje delantero debido a la ubicación del motor, en los cuales se estima que el eje delantero recibe una carga aproximada de un 35.48% de la carga total del vehículo.

Con respecto al número de llantas (pares de llantas) que poseen los vehículos sirven únicamente para distribuir la carga al pavimento y proporcionar mayor seguridad y estabilidad al vehículo.

Por lo expuesto se concluye: que se puede transportar una carga considerablemente grande si se evalúa previamente el tipo de eje, los pares de llantas y la carga máxima autorizada por el fabricante del vehículo, con el objetivo de transmitir uniformemente la carga y ocasionar el menor daño posible al pavimento.

## **2.4 CLASIFICACION DE LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Para poder proporcionar un adecuado mantenimiento o rehabilitación a una red, es necesario observar e identificar los tipos de fallas que está presenta.

A continuación se presenta un catálogo de las fallas más usuales en los pavimentos flexibles.

### **2.4.1 Fallas estructurales:**

Dentro de este grupo las mismas se han clasificado en los tipos más generales según se describe en los siguientes puntos:

#### **a) Fisuras**

- Piel de cocodrilo

La fisura presenta pequeños polígonos de ángulos agudos y pequeña superficie. Este tipo de fallas generalmente es producto de grandes deformaciones de las capas inferiores del pavimento y/o fatiga de la superficie debido al efecto del tráfico y/o el tiempo sobre la misma.

- Fisura de bloque

Las fisuras presentan polígonos de mayor superficie y con ángulos aproximadamente rectos (90°)

Las causas son más similares a las de piel de cocodrilo ya que esta falla constituye un paso previo del mismo proceso.

- Fisura de borde

Se trata de una fisura paralela al borde del pavimento. Es una característica de falla de corte en el terraplén en pavimentos. Está falla solo se presenta en pavimentos urbanos sin contención lateral (cordón).

- Fisura longitudinal

Son fisuras coincidentes con el eje longitudinal del camino. Son causadas por movimientos diferenciales de los distintos carriles o bien, como es el caso más usual en pavimentos urbanos por fisuras reflejas de juntas inferiores.

- Fisuras transversales

Son fisuras perpendiculares al eje de la calzada. Puede ser causada por fisuración refleja de juntas transversales o bien en forma aislada como comienzo del proceso que culmina con fisuración tipo piel de cocodrilo.

- Fisura refleja

Si el pavimento asfáltico es de pequeño espesor (< 12 cm.) sobre una base rígida (suelo-cemento y concreto), todas las fisuras y juntas que posea la base, provocan fisuras en la superficie del pavimento.

## **b) Baches y parches.**

- Baches

Son cavidades que se producen en el pavimento llegando a alcanzar la profundidad de la base. Son causados en su mayoría por desprendimientos sucesivos del material superficial y efecto del tráfico y/o el agua. Otra causa es hundimientos aislados por causa del drenaje.

- Deterioro en áreas bacheadas.

Son desprendimientos y pérdidas de material en zonas donde se ha realizado bacheo. Pueden ser ocasionados por deficiencia de la mezcla asfáltica, problemas de drenaje, falta de compactación o falta de adherencia con la capa inferior.

### **c) Defectos superficiales**

- **Exudaciones**

Son afloraciones superficiales de asfalto o mortero asfáltico en la mezcla o a cargas elevadas del tráfico.

- **Pulimentos de agregados**

Cuando debido a pérdida del mortero asfáltico el agregado queda expuesto en superficie, el tráfico progresivamente lo va desgastando produciendo este tipo de falla.

- **Desprendimiento superficial**

La pérdida del agregado de la carpeta asfáltica da como resultado, este tipo de falla la cual progresa hasta la aparición de baches.

### **d) Deformaciones**

- **Ahuellamientos**

Es la deformación del pavimento en coincidencia con las huellas de los vehículos. Es causada por capas de baja estabilidad o elevadas cargas de tráfico.

Es poco usual encontrar este tipo de fallas en los pavimentos urbanos de la ciudad. Solo en vías de interurbanas o en pequeñas longitudes debidas a cargas estáticas en zonas de pasadas de autobuses o zonas de carga y descarga de mercancías.

- **Corrimientos.**

Se trata de deformaciones localizadas de la carpeta asfáltica las cuales pueden ser causadas por cargas del tráfico, o bien como es el caso más usual en la ciudad, por esfuerzos horizontales debidas a zonas de frenado o giros de autobuses.

- **Corrugaciones**

Son deformaciones que se producen en forma transversal al pie de la calzada en forma de cresta y valles de longitud de onda entre 0.5 a 3.00 metros.

Generalmente se producen en zonas de pendientes fuertes con tráfico de autobuses o camiones.

- Hundimientos generalizados.

Representa un asentamiento general de parte del tramo debido a problemas en la subrasante generalmente causados por colapso de suelos de tipo sensibles al contacto con el agua.

**e) Otras.**

- Deterioro en juntas laterales con cordón-cuneta o badén.

Este deterioro es debido a la discontinuidad existente entre el cordón-cuneta de concreto y el concreto asfáltico lo cual constituye un punto preferencial de ingreso de agua y posterior deterioro del pavimento.

- Rotura en zonas de reparación de cortes.

Debido a deficiencias de la mezcla utilizada en la reparación, se produce el deterioro prematuro de la zona bacheada con fisuración, desprendimiento y pérdida de material.

- Deterioros con cruce de ferrocarril.

Debido a las vibraciones que se produce en el pavimento a causa del paso de trenes, se produce el deterioro de las zonas adyacentes a las vías.

- Rotura lateral por crecimiento de raíces.

Las raíces se incrustan en las capas inferiores del pavimento provocando su deformación hasta la rotura.

## **2.5 METODOS Y TECNICAS QUE SE UTILIZAN EN EL MANTEMIENTO DE LAS VIAS.**

En la evaluación de los pavimentos flexibles además de considerar los tipos de fallas, se debe considerar algunos elementos o factores que se mencionan a continuación:

1. Fallas existentes: deterioran el pavimento debido a factores desfavorables tales como: tráfico inadecuado del usuario principalmente vehículos de carga, mala calidad de la construcción y otros de tipo ambiental que contribuyen a desmejorar el nivel de servicio de las carreteras.

2. Obras de drenaje: si no están construidas adecuadamente para la evacuación del agua o no se efectúa su respectivo mantenimiento puede ocasionar:

- Rotura del pavimento al infiltrarse el agua.
- Erosión de los taludes (derrumbes).
- Socavación de las fundaciones de las estructuras.
- Otros.

Básicamente de las obras de drenaje depende si se alarga o acorta la vida útil de las carreteras.

3. La señalización: medidas que ayudan a orientar y controlar el tráfico, así como el uso como el uso correcto de la vía y proteger los usuarios.

El mantenimiento de pavimentos se describe como la acción de preservar, reparar y restaurar una vía y conservarla en condiciones que proporcionen seguridad, conveniencia y economía.

Generalmente los programas de mantenimiento van dirigidos a solventar principalmente los efectos que se describen a continuación:

- Los efectos del clima.
- Crecimientos de orgánicos.
- Desgaste y daños provocados por el tráfico.
- Daños provocados por el envejecimiento.
- Fallas de los materiales.
- Fallas de tipo constructivo.
- Fallas de diseño.

En algunos casos aunque se realice el mantenimiento a las vías, es necesario realizar una rehabilitación (que es distinto al mantenimiento) debido a que no se han podido solventar los problemas con un mantenimiento físico (bacheos).

La importancia de un mantenimiento se justifica con la necesidad de proteger la inversión que se realiza cuando se construye una vía, así como también proporcionar seguridad y un nivel excelente de serviciabilidad a los usuarios.

En nuestro país las labores de mantenimiento presentan una serie de problemas debido a los factores siguientes:

1. Falta de financiamiento para programas de mantenimiento vial.
2. Falta de planes y programas de evaluación y tratamiento de las vías (estado físico).
3. etc.

Realizándose generalmente labores de mantenimiento de tipo correctivas y no preventivas; dando como resultado la no utilización de técnicas que están orientadas a detectar y corregir defectos menores en las vías.

#### **2.5.1 Técnicas empleadas en el mantenimiento.**

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Estas se deben de tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

Los procedimientos actuales que realiza la Dirección General de Caminos (D.G.C) y la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (D.U.A.) se basan en las recomendaciones del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de América, que considera las características de los materiales y las condiciones climatológicas variables (invierno y verano).

#### **2.5.2 Métodos de mantenimiento**

1. Tratamiento superficial: Simple, doble y múltiple.

Cuando ha fallado la carpeta asfáltica, pero no las capas adyacentes y subyacentes (base y subbase), se requiere mantener las características originales del camino. Procediendo con:

Tratamiento simple: Riego de asfalto líquido, cubierto con una capa de material pétreo compactado.

Tratamiento doble: Aplicación de dos veces el tratamiento superficial simple.

Tratamiento múltiple: Aplicación de 3 ó 4 veces el tratamiento superficial simple, variando la granulometría del agregado pétreo.

2. Riego de sello: Aplicado en pavimentos de superficie abierta, muy lisa o muy desgastada; además, cuando existen fisuras menores de 3 mm. Consiste en colocar sobre el pavimento una película de asfalto cubierta con una capa de material pétreo.
3. Recarpeteo con mezcla asfáltica en caliente: Es la aplicación sobre el pavimento de una mezcla de concreto asfáltico elaborado en caliente, se recomienda en casos de deterioro estructural generalizado.
4. Bacheo superficial: Corrige daños o defectos superficiales, tales como: desintegraciones, corrimientos, peladuras, etc., que afecta cuando la profundidad del bache es mayor de 2 cm. cuando existe fisuramiento o piel de cocodrilo.
5. Bacheo profundo: Consiste en remover y eliminar la carpeta deteriorada, base y subbase; se recomienda cuando los daños no excedan de 20 m<sup>2</sup> en total o no cubran más del 30% de la sección a reparar; para extensiones mayores se recomienda la rehabilitación.
6. Bacheo del hombro: Aplicado con el objetivo de sustituir una parte de la superficie del hombro cuando se presentan desintegraciones, peladuras, etc., y evitar mayores deterioros que perjudiquen el confinamiento de la calzada.
7. Chapeo y limpieza en zona lateral: Consiste en despejar la maleza, hierba, zacate, residuo de siembras, troncos, árboles y arbustos existentes en el derecho de vía, con el propósito de mejorar la visibilidad y seguridad del usuario.
8. Conformación del hombro: Cuando se ha deformado por intemperismo, tráfico o cualquier otra causa, consiste en analizar y conformar la superficie del hombro sin añadir material adicional.

9. Revestimiento de hombro: Es la colocación de una capa de material selecto con espesor de hasta 15 cm., cuando se ha erosionado por intemperismo, tráfico o cualquier otra causa.
10. Reposición del hombro: Reconstruir el hombro cada vez que sufra daños en un espesor de 15 cm.
11. Limpieza y conformación manual de cunetas y canales de desagüe: Para mantener el flujo hidráulico libre, consiste en excavar y remover los materiales inertes y vegetales que se han acumulado en el período que no se ha practicado el mantenimiento.

Los procedimientos de mantenimiento para corregir fallas en pavimentos asfálticos incluyen: bacheo, sellado de grietas o superficies y recubrimiento de la superficie.

- Para el sellado de fisuras menores se utiliza asfaltos diluidos o emulsionados, lechadas emulsionadas y compuestos especiales de asfalto.
- Para fisuras mayores se utilizan los mismos asfaltos para fisuras menores combinados con agregados fino o arena y barridos en el lugar; además pueden sellarse con asfalto y espolvorearse con agregado fino o polvo mineral para prevenir el ahuellamiento.
- Para bacheos: se debe usar primeramente como relleno una mezcla asfáltica densa en caliente y distribuida de tal forma que no se produzca segregación, en caso de no contar con mezcla asfáltica se puede rellenar el bache con material granular de base de buena calidad.

## **2.6 TIPOS DE MANTENIMIENTO Y TECNICAS APLICADOS EN VIAS URBANAS DE SAN SALVADOR.**

En la actualidad la Dirección de Urbanismo y Arquitectura (DUA) ha dejado de aplicar varios tipos de mantenimiento, especialmente los que requieren tratamiento superficial como lo son tratamiento simple, doble o múltiple, utilizados cuando fallaba la carpeta asfáltica, pero no las capas adyacentes y subyacentes (base y subbase) y teniendo como requisito mantener las características originales del camino.

Estos tipos de mantenimientos fueron ampliamente utilizados en las vías urbanas de San Salvador, en la década de los 80', pero en la actualidad debido al deterioro estructural generalizado en que se encuentran, la entidad encargada del mantenimiento se ha visto en la necesidad de rehabilitar y reconstruir algunas vías, descentralizado el mantenimiento periódico hacia la empresa privada, todo esto es producto de la modernización misma del estado por tanto el mantenimiento se ha dividido en dos partes: rutinario y periódico donde el ejecutor del mantenimiento rutinario sigue siendo el estado.

Entre las actividades del mantenimiento rutinario (ejecutadas por DUA) se pueden mencionar:

- Chapeo y limpieza de zonas laterales.
- Limpieza manual de cunetas.
- Limpieza de alcantarillas.
- Remoción de derrumbes.
- Riego de sello.
- Sello de grietas.
- Bacheo superficial.
- Reparación de cordones y cunetas.

Con respecto al mantenimiento periódico (ejecutado por la empresa privada), se puede decir que es como una pequeña rehabilitación de la vía y sus actividades de reparación son de mayor envergadura que las del mantenimiento rutinario, entre ellas están:

- Construcción de cajas de drenajes.
- Bacheo profundo.
- Recarpeteos de 7cms. de espesor.
- Construcción de cualquier obra de drenaje que actualmente, ante su ausencia, disminuye el funcionamiento de la vía.

Actualmente el gobierno ejecuta un plan de rehabilitación de las vías más importantes de la red vial urbana en el AMSS, el cual incluye el cambio de la carpeta asfáltica.

En nuestro país, uno de los métodos empleados para el mantenimiento rutinario como en el periódico es el bacheo, y es probablemente el método más difundido de reparación en el mantenimiento de carreteras y calles. Todos los pavimentos requieren bacheo alguna vez, si los baches no ocurren por causas naturales los producen los cortes y zanjas que origina el tráfico. Los defectos varían desde áreas agrietadas y abrasiones superficiales hasta baches profundos.

El bacheo requiere una supervisión experimentada y firme. Una reparación oportuna de las pequeñas fracturas ayudará a mantener bajos los costos para el mantenimiento, porque una vez la carpeta asfáltica se ha roto y se filtra el agua se produce una falla severa.

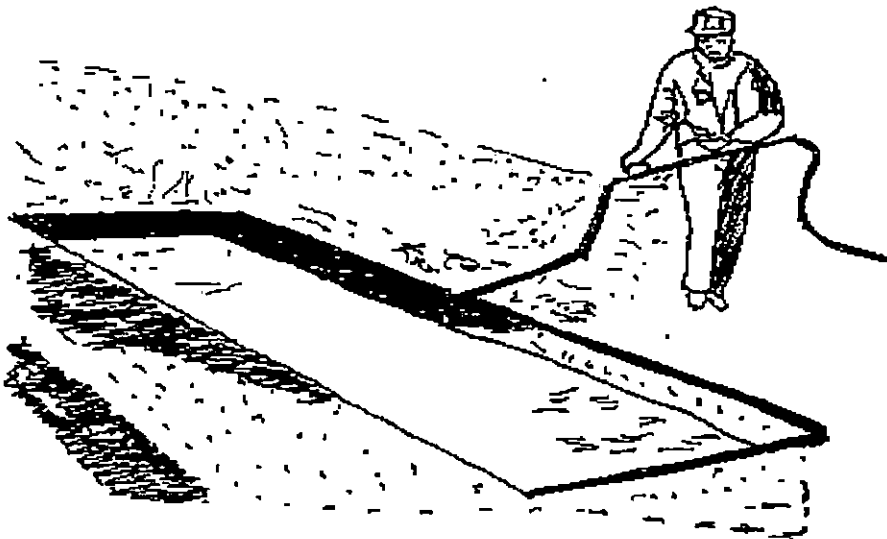
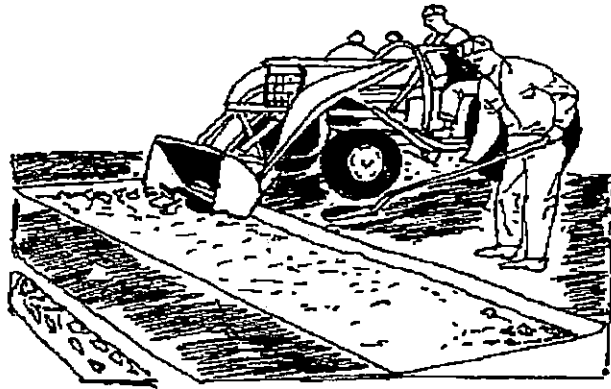
En su ejecución el bache se debe cortar con sus caras verticales y esquinas a escuadra y en forma rectangular.

Para obtener mejores resultados, el bache debe ser rellenado primeramente con una mezcla asfáltica densa, de planta en caliente y distribuida cuidadosamente para prevenir la segregación. Si no se dispone de mezcla asfáltica, se rellena el piso del bache con un buen material granular de base. La parte y la porción superior de la base que fué excavada pueden disgregarse en pedazos pequeños, mezclarse cuidadosamente y colocarse en el piso del bache. Si la profundidad del bache es mayor de 15 cm. , el relleno debe ser colocado en capas y cada capa debe ser compactada cuidadosamente.

Para tener un panorama más amplio de lo mencionado anteriormente se presentan a

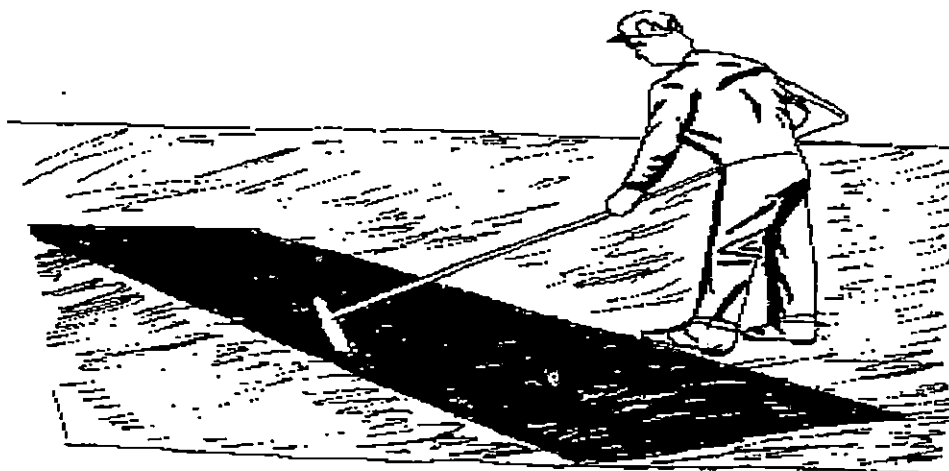
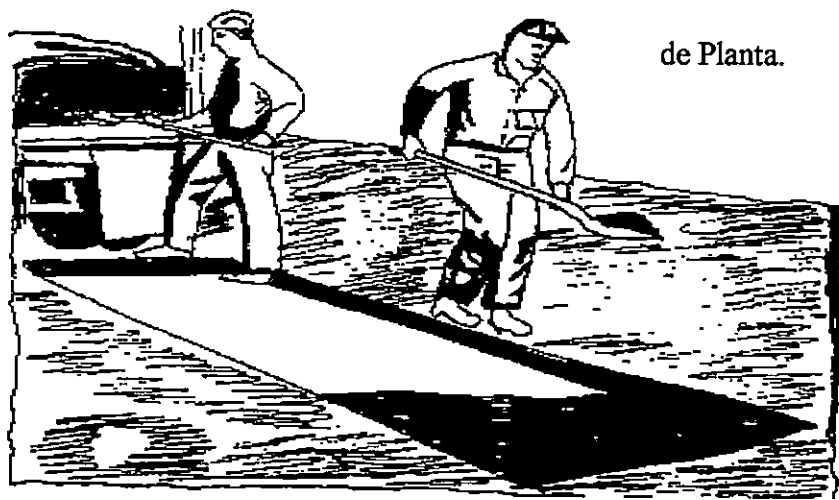
continuación las siguientes figuras.

Remoción de la  
Superficie y de  
la Base

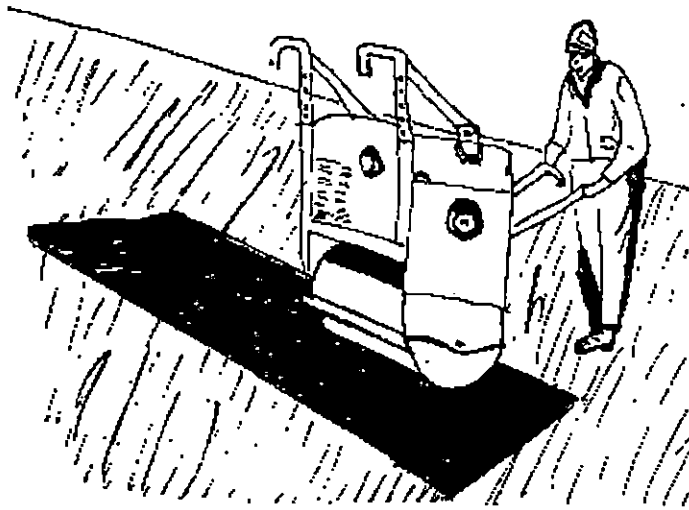


Aplicación de un Riego de Liga a las Caras Verticales

Rellenado del Bache con Mezcla  
de Planta.



Distribución de la Mezcla



### Compactación de Mezcla

En El Salvador, los procedimientos descritos anteriormente para realizar el bacheo no se cumplen con exactitud ya que por lo general los cortes en las caras laterales del bache no son verticales (por no usar las herramientas adecuadas) y la excavación no se realiza hasta la profundidad requerida, eliminando solamente la zona superficial dañada. En cuanto a la mezcla asfáltica muchas veces es preparada en el lugar en forma inadecuada, colocándola después y quedando compactada a un nivel superior de la superficie de rodamiento, obteniendo al final un cuadro rectangular abultado y propenso a cursar accidentes.

## **2.7 NUEVAS TECNICAS Y METODOS PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE VIAS URBANAS DE SAN SALVADOR, UTILIZANDO SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.**

### **2.7.1 Definiciones y orígenes de las Sobrecapas de concreto hidráulico (Whitetopping).**

Las sobrecapas de concreto hidráulico (Whitetopping) se describen como una técnica que puede solucionar los problemas que se presentan en el mantenimiento de los pavimentos flexibles. Esta consiste en la aplicación de Capas de Concreto Hidráulico (Whitetopping) de espesores que varían de 5 hasta 10 centímetros (ultradelgados) y 10 a 30 centímetros (tradicionales), sobre el asfalto deteriorado de las vías.

Las sobrecapas de concreto hidráulico (Whitetopping) tienen sus orígenes en Estados Unidos (EEUU) específicamente en los Estados de Iowa y Kentucky.

En el Estado de Iowa desde 1960 hasta la fecha se han construido mas de 500 kilómetros de sobrecapas de concreto hidráulico, realizando las primeras pruebas cerca de Sergeant Bluff en el condado de Woodbury, obteniéndose resultados excelentes; pero las sobrecapas pueden tener un uso variado, ya que se pueden utilizar para parqueos y para el mantenimiento de aeropuertos. En este estado en 1971 se colocó la primera sobrecapa en el aeropuerto de Stormlake, sometiéndose hasta la fecha a la única labor de mantenimiento, el cual ha consistido en el sellado de las juntas; En 1977 se comenzaron a utilizar en los condados de Dallas, Boone y Washington y desde entonces en 21 condados de 94 de Iowa se han rehabilitado los pavimentos con dicha tecnología.

En el estado de Kentucky, la investigación de esta técnica se remonta a un proyecto realizado en 1944. En la actualidad se han realizado pruebas utilizando concreto de espesores tan pequeños como 5 centímetros, incorporándoles fibras para obtener mezclas de alta resistencia. Las investigaciones no solo se han realizado en los Estados Unidos (EEUU) ya que se

encuentra documentación que demuestra las investigaciones que se han elaborado en Argentina y México donde se han tenido resultados alentadores sobre el futuro de las sobrecapas de concreto hidráulico (Whitetopping).

En Argentina su utilización ha sido diversificada, utilizándose para la rehabilitación de vías y aeropuertos teniendo como antecedente la rehabilitación de los aeropuertos siguientes: Jorge Newbery en la Ciudad de Buenos Aires y el aeropuerto de Fisherton de la ciudad de Rosario, habiéndose rehabilitado hace más de 20 años, aplicándose también en las siguientes vías: Calle 31 de la Ciudad de la Plata (Provincia de Buenos Aires) y en la Avenida Independencia del departamento de Godoy Cruz (Provincia de Mendoza) éste último teniendo la particularidad de estar reforzada con acero (conocido como Whitetopping con refuerzo estructural).

En México su utilización ha sido específicamente en la rehabilitación de carreteras mencionándose a continuación los proyectos donde se ha aplicado dicha técnica:

- En la Ciudad de Tecate.
- Zona urbana de la Ciudad de Tijuana.
- En la Ciudad de Ensenada
- En la Ciudad de San Luis Colorado
- Querétaro
- Otros.

### **2.7.2 Clasificación de las Sobrecapas de concreto hidráulico**

El recubrimiento de un pavimento flexible con una Sobrecapa de Concreto (Whitetopping) se basa en el íntegro aprovechamiento del mismo como base. El recubrimiento de pavimentos asfálticos con Concreto (Whitetopping), es una técnica que se practica en Estados Unidos de América y Europa desde hace tiempo y que se puede clasificar de la siguiente manera:

- **Sobrecapa o recubrimiento de concreto hidráulico simple**

El procedimiento implica la reparación previa a la colocación de la sobrecapa, la corrección de

las principales irregularidades en el perfil de la superficie, y la colocación del pavimento de refuerzo. La capa superpuesta de rodamiento se construye directamente sobre la superficie de asfalto del pavimento existente, que puede ser fresado para garantizar una excelente adherencia. El tipo de concreto a usar es determinado por las condiciones climáticas, el espesor de la sobrecapa, las condiciones de tráfico y la prontitud con la que abrirá al tráfico la nueva superficie. Por lo general en muchos casos el módulo de ruptura varía entre 31.62 Kg/cm<sup>2</sup> y 34.64 Kg/cm<sup>2</sup> en otros casos se ha utilizado concreto con un módulo de ruptura de 28.92 Kg/cm<sup>2</sup> a las 12 horas pudiéndose abrir el tráfico a las 24 horas.

- **Sobrecapas de concreto hidráulico con refuerzo estructural**

Se trata de una nueva tecnología de refuerzo en pavimentos flexibles que ofrece ventajas, tanto técnicas como económicas y que permiten disminuir el monto de la inversión necesaria destinada a la rehabilitación de esos tipos de pavimentos.

Este recubrimiento consiste en una capa de Concreto Hidráulico de espesor considerablemente más delgado que los usuales en pavimentos de Concreto convencionales (aproximadamente de 10 centímetros) dotado con refuerzo estructural. Este refuerzo en pavimentos flexibles con capas delgadas provistas de una adecuada estructura, confiere a la superficie de la calzada las características propias de los pavimentos de hormigón; y constituye una alternativa que cumple con las tres condiciones básicas requeridas en la ejecución de todo recubrimiento:

1. Larga vida útil
2. Bajo costo inicial
3. Bajo costo de mantenimiento
4. En este caso el bajo costo inicial se consigue debido al pequeño espesor.

En consecuencia, debido a los excelentes resultados obtenidos en los Estados Unidos de América y Europa, así como en México y Argentina surge ésta tecnología como una solución técnica y económica para resolver el problema de la rehabilitación de pavimentos flexibles que han cumplido su vida útil y que aún poseen un determinado valor residual aprovechable.

- **Sobrecapas de concreto hidráulico reforzada con fibras.**

El concreto simple se puede reforzar con una estructura secundaria consistente en el 1% al 2% en volumen de pequeñas fibras de no más de 5 centímetros de longitud.

Las fibras más usuales son las fibras de acero y las sintéticas, en especial las polipropileno.

La adición de fibras confiere al pavimento una mayor resistencia a flexión, mas tenacidad y menor aparición de fisuras. Este tipo de pavimentos son más recomendables especialmente para cargas concentradas o dinámicas como por ejemplo en pavimentos industriales, aeropuertos, etc.

### **2.7.3 Tipos de Sobrecapas de concreto hidráulico (convencional y ultradelgados)**

Los espesores de las losas de concreto varían de los 10 a los 30 cm. Esto es lo que se puede denominar "whitetopping convencional".

Recientemente, se han utilizado losas delgadas con espesores de 5 a 10 cm. Con buenos resultados, siendo esta tecnología la que se conoce como "Whitetopping ultradelgado".

## **2.8 SOBRECAPAS ULTRADELGADAS DE CONCRETO HIDRAULICO SIMPLE.**

### **2.8.1 Generalidades.**

Según la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto ACPA, la capa ultradelgada de desgaste se define como: Una capa superpuesta de concreto de 5 a 10 cm. de espesor, con juntas espaciadas cercanamente, adherida a un pavimento de asfalto existente. Conocida ampliamente como UTW. (Ultra Thin Whitetopping por sus siglas en ingles).

La UTW es la solución más reciente de la industria del concreto para recuperar pavimentos de asfalto, combina la tecnología de adhesión de las capas, esto produce un pavimento ligado compuesto con esfuerzos de tracción minimizados en la capa de concreto.

La mayoría del concreto utilizado para proyectos de UTW contiene fibras tales como el polipropileno, el polyolefin, el acero o el nylon para mejorar la resistencia al agrietamiento y mejorar la tenacidad o ductilidad del concreto.

Las fibras de polipropileno han sido más ampliamente utilizadas que las otras.

Con respecto al desarrollo de la UTW, el primer experimento controlado con capas de desgaste de menos de 10 cm. comenzó en Louisville Kentucky, en 1991, se instalaron secciones de ensayo con capas superpuestas de concreto de 5 a 9 cm. sobre la vía de acceso a un relleno de tierras, donde circulaban diariamente entre 400 y 600 camiones con carga pesada.

Esta ubicación permitió un ensayo de carga acelerado, simulando años de tráfico residencial en solo semanas. Más aún, cada camión era pesado a la entrada, brindando datos de carga más precisos a los investigadores.

El rendimiento de la instalación de UTW en Kentucky fue sorprendente al comienzo y continuó mejorando más de lo que se hubiera podido predecir para procedimientos convencionales de diseño. Esto parece atribuible a dos factores: La adhesión del concreto al asfalto creando una sección monolítica y el uso de juntas poco espaciadas. Continuando la experiencia de Kentucky, las obras con UTW se propagaran a medida que la tecnología continuó su avance, en la siguiente tabla 2.8.1.1 se muestran algunos tramos representativos del uso de capas superpuestas ahora en servicio, la experiencia del campo se va acumulando.

Los investigadores están observando las características del uso de la superficie, el agrietamiento y la Deflexión. Adicionalmente a los estudios desarrollados en Kentucky, se han instrumentado instalaciones en Iowa y Missouri para medir resistencias, con el objeto de desarrollar un nuevo procedimiento de diseño.

**TABLA 2.8.1.1 TRAMOS REPRESENTATIVOS DEL USO DE SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.**

Ubicación	Mankato, Minn.	Sprit of Louis Aeropuerto, St. Louis.	Louisville, Ky.	Brunswick, Ohio.
Fecha de terminación.	Junio de 1996.	Febrero de 1995.	Septiembre de 1991.	Agosto de 1996.
Espesor.	80 mm	90 mm	50 mm y 90 mm	50 mm
Resistencia especifica del concreto.	No disponible.	Resistencia mínima a la flexión 4.7 Mpa.	24.50 Mpa. Mínimo a las 24 horas.	Resistencia a la flexión para la apertura al tráfico 2.8 Mpa.
Espaciamiento del as juntas.	1.50 m a 1.80 m	1.70 m en cada sentido.	0.60 x 0.60 m. 1.80 x 1.80 m	0.60 x 0.60 m 1.20 x 1.20 m
Fibras usadas (por yarda cúbica de concreto)	15.5 Kg/m <sup>3</sup> de polyolefin (1.6 % por volumen).	2.0 Kg/m <sup>3</sup> de polipropileno	2.0 Kg/m <sup>3</sup> de polipropileno	Tres mezclas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.55 Kg/m<sup>3</sup> de Nylon.</li> <li>• 2.0 Kg/m<sup>3</sup> de polipropileno</li> <li>• 2.0 Kg/m<sup>3</sup> de acero.</li> </ul>
Preparación de la superficie.	Picada.	Picada, con chorros de aire.	Picada.	Picada.
Area de concreto.	6000 m <sup>2</sup> .	11300 m <sup>2</sup>	11300 m <sup>2</sup>	330 m <sup>2</sup>
Tipo de tráfico	Calle de ciudad.	Zonas frente a hangares para aviación general hasta 5,682 Kg.	Tráfico pesado de camiones.	Carril de cambio en calle de ciudad.
Detalles constructivos	Parte de un trabajo mayor decapa de desgaste que incluyó un espesor de 150 mm y 114 mm.	Parte de un trabajo mayor que incluyo capas superpuestas de 8 y 10 pulgadas.	Pavimento en forma deslizante.	Cedazo vibratorio.

Fuente: Asociación Americana de Pavimentos de Concreto.

### **2.8.2 EFICIENCIA.**

Las sobrecapas de concreto mantienen un alto nivel de servicio durante toda su vida útil. El grado de eficiencia es una medición de la capacidad de un pavimento para soportar el tráfico, y depende de la integridad estructural y del grado de comodidad en su recorrido.

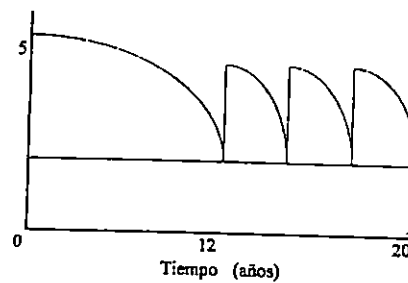
La vida útil de las sobrecapas flexibles es mucho más corta comparado con una sobrecapa de concreto Hidráulico esto se puede observar en la fig. 2.8.2.1

En éstas gráficas se aprecia la reducción de la eficiencia en recarpeteos de asfalto, por lo que se necesita dar mantenimiento, debido a esa reducción en el índice de servicio (deterioro estructural y rugosidad). La alternativa a base de sobrecapa de concreto conserva el referido índice e implica un mantenimiento considerablemente más reducido.

**FIG. 2.8.2.1 EFICENCIA DE LAS SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO**

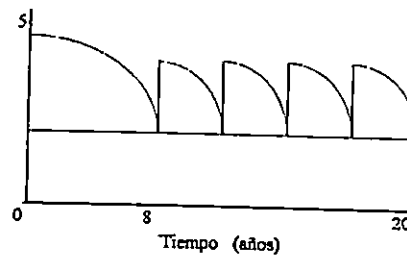
Eliminar el pavimento existente y sustituirlo por un pavimento asfáltico nuevo o reciclado de 32 cm.

NIVEL  
DE  
SERVICIO



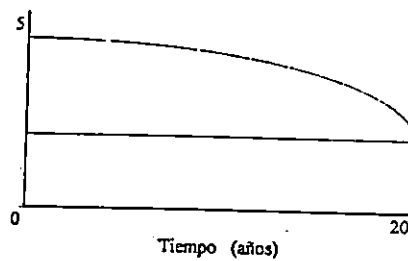
Eliminar los 10 cm superiores del pavimento existente y sustituirlos por 23 cm de pavimento asfáltico

NIVEL  
DE  
SERVICIO



Sobrecapa de concreto de 20 cm de espesor

NIVEL  
DE  
SERVICIO

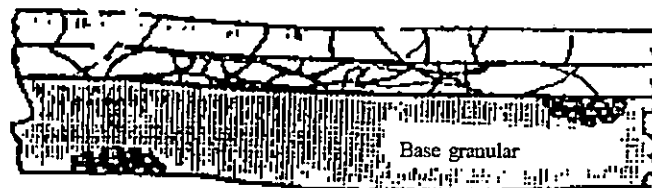


Las Sobrecapas de Concreto Hidráulico (Whitetopping) mejoran la capacidad estructural. La capa de refuerzo reacciona estructuralmente, como si se hubiera construido sobre una capa de base resistente. Esto evita las fallas del tipo estructural tales como pérdida de apoyo, efecto de bombeo de finos, agrietamiento y fractura de las esquinas. En un estudio reciente hecho por la ACPA acerca de sobrecapas de concreto en seis estados, no se encontró evidencia alguna de fallas estructurales.

Un recarpeteo de concreto hidráulico actuará como puente para librar los problemas aislados que pudieran reflejarse a través de uno de asfalto, esto se puede observar en la figura 2.8.2.2.

Asfalto existente

Recarpeteo Asfáltico



El asfalto refleja los problemas existentes

Asfalto existente

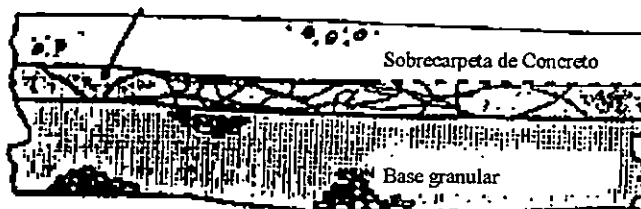


Figura 2.8.2.2

Una sobrecapa de asfalto sobre un pavimento antiguo de asfalto necesita trabajos de reparación de consideración.

Esto se debe a que en cualquier sistema flexible las capas subyacentes necesitan repartir una parte importante de la carga.

### **2.8.3 Criterios de diseño.**

Las sobrecapas de concreto sobre pavimentos asfálticos, se pueden unir entre sí con juntas simples (con o sin pasajuntas), con juntas reforzadas o con un refuerzo continuo. La mayor parte de las sobrecapas de concreto sobre asfalto se unen con juntas simples. Cualquiera que sea el caso, se debe usar un procedimiento de diseño confiable, para calcular el espesor de la sobrecapa.

El procedimiento debe ser capaz de caracterizar la capacidad de carga estructural, que el pavimento existente impartirá a la sobrecapa de concreto. Al igual que sucede con todos los pavimentos de concreto hidráulico, se necesita especificar una separación adecuada entre juntas, la transferencia de carga, una estimación del volumen de tráfico y las condiciones de drenaje, a fin de garantizar una larga vida. Un diseño confiable (aquel que toma los aspectos antes mencionados) permitirá una calidad de servicio excelente a lo largo de toda la vida útil esperada (de 20 a 30 años o más).

# **CAPITULO III**

## **EVALUACION Y COMPORTAMIENTO DE LAS CAPAS DE APOYO DE UN PAVIMENTO**

### **3.0 EVALUACION Y COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.**

#### **3.1 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS O FLEXIBLES**

Las técnicas de laboratorio de la mecánica de suelos, que se comenzaron a aplicar para la evaluación de pavimentos flexibles, se inician en nuestro país en el año de 1950, practicando ensayos de laboratorio aplicados a las capas del pavimento, con el fin de conocer mejor las características físicas y mecánicas de éstas.

Las evaluaciones se realizaban utilizando el método directo o tradicional: visual ó muestrero. Este método de evaluación de pavimentos de asfalto se basa en ensayos de laboratorio e inspecciones de campo, que definen las condiciones generales del estado actual del pavimento. Es importante mencionar que este método se sigue utilizando en la actualidad.

En los años de 1980 a 1990, se utilizaron formatos para la evaluación de vías pavimentadas (cuadro No. 3.1.1), luego a partir de 1991 la D.G.C. ya tiene un instructivo "Inventario Vial de las Vías Pavimentadas" el cual presenta los pasos a realizar en campo. El procedimiento consiste en identificar, cuantificar y evaluar todos los aspectos que involucran el estado de las carreteras; así como las condiciones de la superficie del pavimento, aspectos geométricos, señalización y obras de drenaje; utilizando un programa de computación que facilita la evaluación del nivel de daño de la vía.



### **3.2 TIPOS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS**

#### **□ Tipos de Suelos.**

Se considera de mucha importancia el análisis y comportamiento de los suelos, debido a que son una parte fundamental en las capas de apoyo de un pavimento.

Por tal razón se han clasificado e identificado los tipos de suelos más comunes en tablas correspondientes a los sistemas AASTHO y SUCS<sup>1</sup>.

En resumen los suelos se clasifican en tres grandes grupos:

1. Suelos Gruesos.
2. Suelos Finos de baja Plasticidad.
3. Suelos Finos de alta Plasticidad.

Es importante también tener presente ciertos criterios referente al comportamiento de los suelos como por ejemplo:

- Limite Líquido.
- Limite Plástico.
- Índice de Plasticidad.
- Permeabilidad.

#### **□ Propiedad de los suelos**

##### **1. Granulometría :**

Es la propiedad que tienen los suelos naturales de mostrar diferentes tamaños en su composición.

Para poder determinar esta propiedad se realizan ensayos en laboratorio y consiste en tomar muestras y hacerlas pasar por mallas de aberturas conocidas de acuerdo con las normas ya establecidas para este ensayo; Luego se pesa el material retenido en cada una de las mallas y se grafican los resultados, formándose una curva entre los tamaños de las partículas y los porcentajes en peso que pasa el material en una malla dada.

1. Carreteras, Calles y Aeropistas, Raúl Valle Rodas, Editorial Ateneo.

## 2. Resistencia a la Degradación:

Es la propiedad de los materiales que indica el grado de desintegración y descomposición que sufren las partículas del suelo al ser sometidas a diferentes agentes de intemperismo físico o a cargas por tráfico.

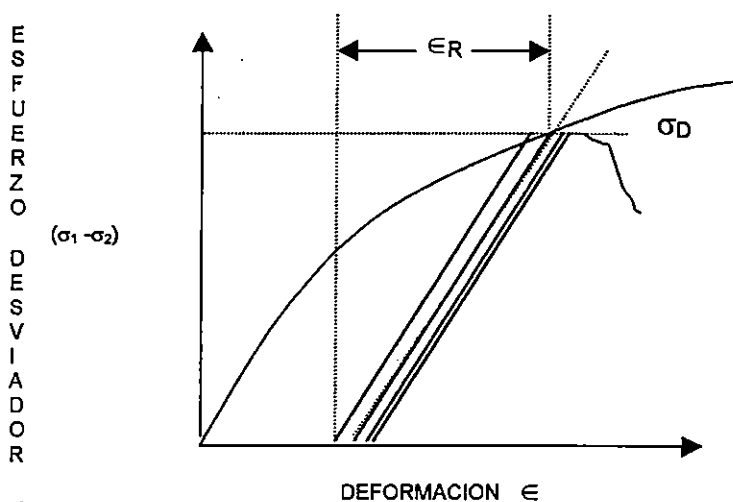
Con respecto a los materiales gruesos, el ensayo se realiza mediante el método de prueba con la máquina de los Angeles, de acuerdo con las normas ASTM C- 535 y ASTM C- 131, para partículas pequeñas el ensayo se rige bajo la norma AASHTO T- 96

## 3. Resistencia del terreno de apoyo:

Es la propiedad o característica de resistencia y de esfuerzo-deformación de los materiales que conforman el terreno de apoyo de los pavimentos; para determinar estas características, existen diferentes métodos para investigar el terreno, entre los cuales tenemos:

- Por penetración (prueba de Valor Relativo de Soporte ó CBR)
- Por resistencia al esfuerzo cortante (mediante pruebas Triaxiales)
- Módulo de Resiliencia o Módulo Elástico del Suelo.

El **Módulo de Resiliencia** se puede definir como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en la zona cíclica de carga y descarga obtenida mediante una Prueba Triaxial o mediante una Prueba de Placas



Donde:

$\sigma_D$ : Esfuerzo desviador de la repetición de carga.

$\epsilon_R$ : Deformación en la zona de Resiliencia o elástica.

∴ el Módulo de Resiliencia se calcula usando la siguiente fórmula:

$$M_R : \sigma_D / \epsilon_R \text{ (en PSI)}^2.$$

El Módulo de Resiliencia se puede calcular a partir de valores del Ensayo de Valor Relativo de Soporte de California (CBR), mediante la siguiente fórmula:

$$M_R : 750-3000 \times \text{CBR} \text{ (en PSI)}^3.$$

- Por aplicación de carga (obteniendo el módulo de reacción K y el esfuerzo de corte de las capas de apoyo)

#### 4. Otras características importantes

Existen otras características de los suelos que se emplean como relleno para dar el nivel de la rasante de un proyecto nuevo o cuando se trate de dictaminar la factibilidad de los suelos existentes; estas propiedades son las siguientes:

##### a) Contracción lineal :

Se define como la disminución de las dimensiones de la masa de un suelo dado al reducirse el contenido de agua correspondiente a su límite líquido de contracción.

Indica de manera cualitativa la actividad de la porción fina del suelo, expresa además el cambio de dimensiones respecto a su longitud original como un porcentaje.

##### b) Equivalente de arena :

Es la prueba que se realiza para evaluar de manera cualitativa la cantidad y actividad de materiales finos presentes en los suelos a utilizar. Consiste en ensayar los materiales que pasan la malla No. 4 en una probeta estándar parcialmente llena de una solución<sup>4</sup> que

<sup>2</sup> Tomado de: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, Manual MS-4

<sup>3</sup> AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, apartado 1.5 Roadbed Soil.

<sup>4</sup> Solución formada por Cloruro de Calcio (material floculante), porción de Formaldehído (para estabilizar) y Glicerina.

propiciará la sedimentación de los finos, la realización de esta prueba se ejecuta de acuerdo con la norma AASHTO T- 176-86.

### **3.3 CAPAS DE UN PAVIMENTO.**

- **SUBRASANTE:**

Es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortado y compactado ó puede ser, debido a los requerimientos del diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente y se selecciona para relleno un material de buena calidad.

En todo caso, el material deberá cumplir con las normas y especificaciones de calidad respectivas.

- **SUB-BASE:**

Es una capa de materiales pétreos, de buena graduación construida sobre la subrasante.

Esta capa al igual que la subrasante, deberá cumplir con los requisitos de compactación y calidad. Está capa es la que subyace a la capa base cuando es necesaria, como es el caso en los Pavimentos Flexibles.

Normalmente la subbase, se construye para lograr espesores menores de la capa base, para Pavimentos Flexibles. En el caso de Pavimentos de Concreto, resulta conveniente colocar una capa de subbase cuando las especificaciones para pavimentos son más exigentes.

- **BASE:**

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la subbase. Generalmente se le usa en los Pavimentos Flexibles; se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Está capa permite reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

- **CARPETA:**

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las terracerías. Pueden ser materiales granulares con ó sin liga, ó más comúnmente de Concreto Asfáltico ó Hidráulico, en todas sus variantes. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones.

### **3.4 REQUISITOS DE LAS CAPAS DE APOYO.**

- **SUBRASANTE:**

Los materiales que se usen para está capa deberán ser de preferencia del tipo: GW, SW, SM, ML e incluso SC, siempre que la porción fina, ó sea la arcilla no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95% al 100% de la Prueba de Compactación AASTHO T-180.

Cuando los materiales sean del tipo CL, MH, CH, CL-ML y cuando su Límite Líquido (LL) esté comprendido entre el 50% y 100% se analizará la posibilidad de mejorarlos para poder reducir los valores de LL y en consecuencia su Índice de Plasticidad (Ip).

Cuando el terreno de apoyo presente los siguientes tipos de suelos: MH, CH, y OH con LL de 100% deben ser rechazados como materiales de apoyo y realizarse una sustitución por material de mejor calidad en espesores mínimos de 30 cm, ó considerar la posibilidad de mejorar las propiedades de estos suelos con tratamientos de estabilización según sea el caso.

En todos los casos donde el terreno de cimentación natural presente bolsas de material con un porcentaje elevado de material orgánico debe ser sustituido con material limoso mezclado con arena y grava.

#### **En Rellenos ó Terraplenes:**

Este es un caso especial de capa de subrasante, cuando por motivos de requerimientos de rasante de proyecto se requiere elevar el nivel de terreno, los materiales que se empleen para este propósito nunca deben tener un LL mayor de 60%.

Generalmente cuando el terreno de apoyo presenta materiales arcillosos se recomienda siempre colocar un material de subbase granular de 10 cm. como mínimo en caso de calles y de 15 cm. en carreteras.

- **SUBBASE:**

Materiales granulares compuestos por gravas-arenosas, mezclas de arena, limo y gravas, etc.

El material empleado deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Tamaño del Tamiz	% por peso pasando por el Tamiz designado (AASHTO T-27 y T-11)	
	Grado de Designación.	
	A	B
2½" (63 mm)	100	
2" (50 mm)	97 – 100	100
1½" (37.5 mm)		97 – 100
1" (25 mm)	65 – 79	
½" (12.5 mm)	45 – 59	
No. 4 (4.75 mm)	28 – 42	40 – 60
No. 40 (425 µm)	9 – 17	
No. 200 (75 µm)	4 – 8	0.0 – 12

Fuente: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (Conocidas Como Normas F.P.)

Adicionalmente el material deberá cumplir lo siguiente:

Límite Líquido, AASHTO T-89: 25% Máx.

Desgaste de Los Angeles, AASHTO T-96: 50% Máx.

Índice de durabilidad para Agregado Grueso, AASHTO T-210: 35 Mín.

Índice de durabilidad para Finos, AASHTO T-210: 35 Mín.

Límite Líquido, AASHTO T-89: No Plástico.

- **BASE:**

La granulometría deberá estar comprendida entre los siguientes rangos:

Tamaño del Tamiz	% por peso pasando por el Tamiz designado (AASHTO T-27 y T-11)		
	Grado de Designación		
	A	B	C
2" (50 mm)	100		
1½" (37.5 mm)	97 – 100	100	
1" (25 mm)		97 – 100	100
¾" (19 mm)	67 – 81		97 – 100
3/8" (9.5 mm)		56 – 70	67 – 79
No. 4 (4.75 mm)	33 – 47	39 – 53	47 – 59
No. 40 (425 µm)	10 – 19	12 – 21	12 – 21
No. 200 (75 µm)	4 – 8	4 – 8	4 – 8

Fuente: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (Conocidas Como Normas F.P.)

Los agregados además deberán cumplir con los requisitos adicionales que se requieren para la subbase.

### **3.5 ENSAYOS DIRECTOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS.**

Existen diferentes métodos directos para realizar la evaluación de la subrasante de los pavimentos entre los cuales se encuentran:

1. Ensayos de carga " In situ"

- Ensayo del Valor Relativo de Soporte de California (CBR) o CBR de campo.
- Ensayo de Placa de Carga.

2. Ensayos que se realizan en laboratorios investigativos, con muestras de suelo de la subrasante, entre los cuales tenemos:

- Ensayo del Valor Relativo de Soporte de California (CBR):

Debido a que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo con su grado de alteración, con su granulometría y sus características físicas el método a seguir para determinar el CBR será diferente en cada caso, así tenemos:

- CBR para Gravas y Arenas.
- CBR para suelos cohesivos, poco plásticos o nada expansivos.
- CBR para suelos inalterados.
- CBR para suelos cohesivos y expansivos.
- Ensayo con el Estabilómetro de HVEEM.
- Ensayo del Módulo de Resilencia (Mr).

3. Evaluaciones que se realizan en base a la Clasificación de los suelos mediante la identificación y ensayo de las partículas constituyentes.

De los métodos mencionados anteriormente, los que comúnmente se utilizan son el CBR de laboratorio para suelos inalterados y la Prueba de Placa de Carga, ya que la confiabilidad de los resultados que proporcionan estos ensayos con respecto a la estructura de los pavimentos es satisfactorio.

### **3.5.1 Método de relación de soporte de California (CBR) inalterados.**

Este método tuvo sus orígenes en 1929 y fue propuesto por los Ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter, del Departamento de Carreteras del Estado de California. Desde esa fecha hasta la actualidad el CBR se ha convertido en uno de los métodos que se emplean generalmente para el cálculo de pavimentos.

Se establece en él, una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte como base de sustentación para los pavimentos; el método es empírico ya que se basa en un sinnúmero de trabajos de investigación realizados en laboratorios de ensayos de materiales, como en el terreno, por lo que se considera como uno de los mejores procedimientos prácticos sugeridos hasta la fecha.

#### **❖ PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO CBR DE LABORATORIO (para suelos Inalterados).**

Para la realización de este ensayo es necesario realizar los siguientes pasos:

##### **1) Obtención de muestras:**

Para obtener muestras "no perturbadas" o "inalteradas", se empleará:

- Cilindros de bordes cortantes, semejante al de la figura 3.5.1.1
- Moldes cortados por su cara lateral y ajustables mediante abrazaderas especiales.
- Cajas de madera cuya base y tapa sean removibles.

Los cilindros y moldes son de acero o hierro galvanizado y se emplean para obtener muestras de suelos cohesivos. Las cajas de madera se utilizan para la obtención de muestras de suelos granulares.

Antes de obtener muestras de suelos se recomienda limpiar el sitio, y si es posible nivelarlo.

Cuando se emplean moldes CBR de bordes cortantes, la obtención de muestras se hace introduciendo estos moldes a presión. Una vez que ha sido introducido completamente, se excava el suelo que está al alrededor del molde y se "corta" lo que queda debajo del molde.

Luego, se le enrasan las superficies de ambas caras y se vierte parafina líquida a fin de evitar pérdidas de humedad por evaporación. Las muestras así son enviadas al laboratorio debidamente protegidas contra golpes, etc.

Para la obtención de muestras de suelos areno-gravosos, se quita la base y tapa de la caja de madera que se utilice y se introducirá ésta cuidadosamente hasta llenarla de material. Una vez esté llena, se vertirá parafina líquida de tal modo que cubra completamente la muestra, se colocará y fijará la tapa y base y se la enviará al laboratorio.

## 2) Determinación de la densidad y humedad

La densidad y humedad deberán ser determinadas "in situ". Para ello, es conveniente seleccionar un lugar muy próximo al donde se obtuvo la muestra.

## 3) Determinación del CBR.

Si la muestra sin perturbar ha sido obtenida mediante un molde semejante al de la figura 3.5.1.1, se le quita la cubierta de parafina de una cara, se enrasa la superficie, se coloca un papel filtro grueso y se monta la base perforada. Luego, se invierte el molde, se enrasa la superficie de la otra cara y se coloca el collarín.

Si la muestra inalterada ha sido obtenida mediante el empleo de un cilindro ajustable con abrazaderas, se procederá en forma semejante a la anterior. Si no hubiese un collarín que se pudiera adaptar al cilindro, se puede sacar la muestra (a presión soltando las abrazaderas), hasta que quede un espacio de unos tres centímetros, una vez realizada esta operación; se enrasa la superficie, se coloca un papel filtro y se monta la base metálica perforada. Luego, se proceda a realizar directamente la penetración.

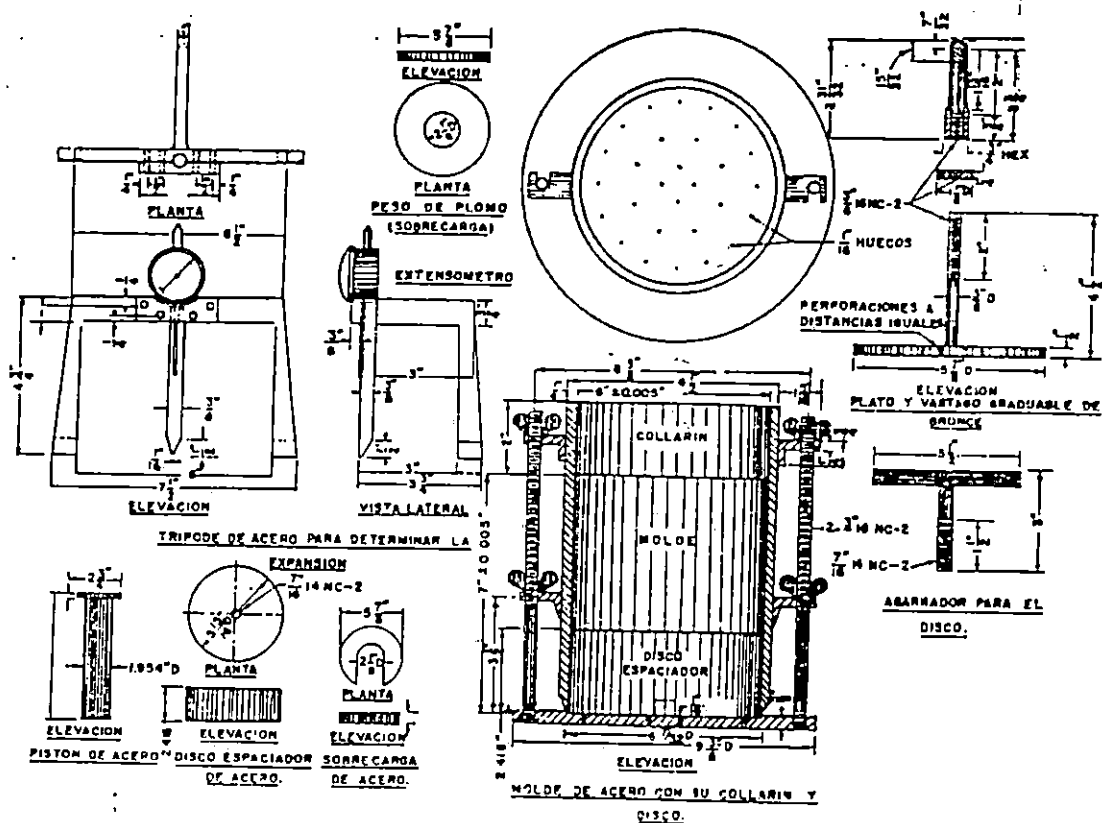
Para determinar el CBR de muestras arenosas y gravosas, bastará quitar la tapa de la caja, removerla parafina solidificada y hacer directamente la prueba de penetración.

### ❖ CBR para condiciones "In Situ".

Es bajo ciertas condiciones una prueba satisfactoria para determinar la capacidad de soporte de un material, puede usarse en cualquiera de las condiciones siguientes:

- Cuando el peso volumétrico en el lugar y el contenido de humedad son tales que el grado de saturación es de 80% o mayor.
- Cuando el material es de partículas gruesas y sin cohesión, de manera que no se vea afectado por los cambios de contenido de humedad.
- Cuando el material ha estado colocado en el lugar por muchos años; en estos casos el contenido de agua puede fluctuar dentro de un intervalo reducido, considerándose que la prueba de campo arroja índices satisfactorios de la capacidad de soporte.

FIG. 3.5.1.1



### 3.6 PRUEBA DE PLACA.

Mediante este tipo de ensayos se puede obtener entre otras cosas, el Módulo de Reacción K, de las capas de apoyo. Normalmente, éste se determina empleando una placa de 12 cm. de diámetro. Es común emplear una serie de placas apiladas para minimizar los efectos de flexión. Estas placas accesorias son de 10 y 8 cm.

Por otro lado en nuestro país se han empleado, placas de 12 cm. de diámetro para obtener las capacidades de carga superficial y también los Módulos de Reacción.

La carga se aplica por medio de gatos hidráulicos. Como elemento de reacción se puede utilizar una viga que a su vez se sujeta a la parte inferior de un camión pesado que sirve de contrapeso.

Como elemento de carga entre viga y placa se puede colocar un fragmento de tubo rígido, el cual será accionado con fuerza y hacia arriba por el gato hidráulico, y la reacción correspondiente, hacia abajo, se aplica directamente sobre la placa de prueba.

Los desplazamientos verticales se miden mediante tres micrómetros (extensómetros) separados a 120° entre sí. Los puntos de apoyo de la viga de medición, sobre la cual miden los extensómetros, deben estar retirados del lugar de carga, a no menos de 5 metros. (ver figura 3.6.1).

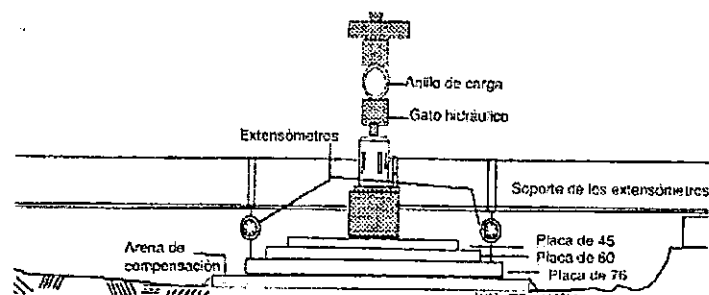


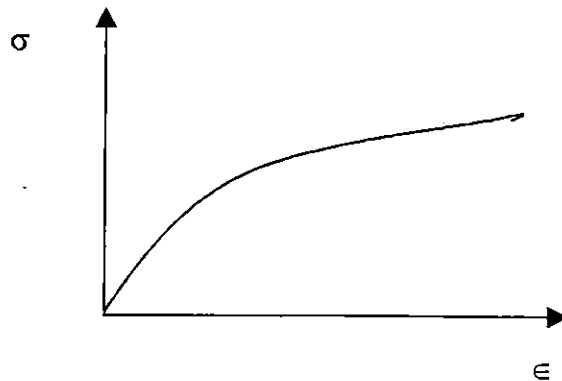
FIGURA 3.6.1

Es importante mencionar que el ensayo de Placa de Carga se puede realizar con cargas repetitivas y no repetitivas cuyas normas ASTM son D1195-93 y D1196-93 respectivamente, la decisión de realizar uno de los ensayos dependerá del resultado que se quiera, así por ejemplo el ensayo con carga repetitiva sirve únicamente para determinar los esfuerzos cortantes en las capas de un pavimento y el ensayo con carga no repetitiva, además de proporcionar los esfuerzos cortantes determina el Módulo de Reacción de la Subrasante.

### 3.6.1 Prueba de placa con ensayo de carga no repetitiva.

Según la norma que rige el ensayo es común aplicar una presión constante en incrementos de  $0.07 \text{ Kg/cm}^2$  a  $0.35 \text{ Kg/cm}^2$ , prefijando una deformación de  $0.5 \text{ plg.}$  la cual se logra cuando el nivel de esfuerzos alcanza aproximadamente  $0.7 \text{ Kg/cm}^2$ , la carga se deja constante hasta que la deformación se estabilice y no sobrepase  $0.025 \text{ mm/min.}$  en tres minutos consecutivos, Se toma el promedio de las tres lecturas de Micrómetro.

Una vez realizada la Prueba se puede generar un gráfico Esfuerzo- Deformación como el siguiente:



El Módulo de reacción queda definido como:

$$K = P/\Delta$$

Donde:

P : Presión aplicada, en  $\text{Kg/cm}^2$ .

$\Delta$  : Deflexión de la placa, en cm.

### **3.6.2 Prueba de placa con ensayo repetitivo.**

El ensayo es similar al no repetitivo, la diferencia sustancial consiste en que antes de aplicar cada incremento de carga el sistema es llevado a una carga igual a cero (se provoca una descarga) de ésta manera se logra construir un gráfico Esfuerzo-Deformación, en donde se visualiza el comportamiento elástico del suelo y sus asentamientos.

# **CAPITULO IV**

**DISEÑO DE SOBRECAPAS DE  
CONCRETO HIDRAULICO,  
UTILIZANDO LOS METODOS  
AASTHO Y PCA**

#### **4.0 DISEÑO DE SOBRECAPAS UTILIZANDO LOS METODOS AASHTO Y PCA.**

Para poder determinar el espesor de la Sobrecapas se han revisado los métodos de diseño AASHTO Y PCA, los cuales están diseñados para trabajar con espesores convencionales.

Por lo tanto, estos métodos no tienen aplicabilidad en el diseño de los Espesores Ultradelgados (por sus siglas en Ingles UTW).

En la actualidad no se cuenta con una metodología exacta para el diseño de los UTW, pero la PCA proporciona unos lineamientos generales que permiten diseñar razonablemente.

#### **4.1 ACTIVIDADES PREVIAS AL DISEÑO DE LAS SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.**

En el diseño de Sobrecapas de Concreto Hidráulico es necesario realizar previamente ciertas actividades en lo referente a las condiciones físicas existentes, con el objeto de obtener información básica del proyecto

##### **4.1.1 Levantamiento físico de las condiciones actuales.**

En esta etapa se estudian diversas variables de campo, entre las cuales están el tráfico existente en la zona del proyecto y el nivel de daño que presenta el pavimento existente.

En los siguientes apartados se describe detalladamente las actividades que se realizan para evaluar las variables antes mencionadas.

##### **4.1.1.1 Pavimento.**

A partir de un levantamiento físico de las condiciones actuales del pavimento se puede establecer el nivel de daño que presente dicha estructura, para lograr esto se realizan

evaluaciones cualitativas y cuantitativas haciendo uso de inspecciones visuales y ensayos de laboratorio respectivamente.

La evaluación cualitativa se realiza tomando como base los diversos criterios para la clasificación de fallas en pavimentos flexibles, que fueron descritos detalladamente en el apartado 2.4 y los procedimientos de evaluación que presentan los formatos con que cuenta la DGC (descrito en el apartado 3.1); adicionalmente en la evaluación cualitativa se estudia el drenaje, subdrenaje y hombros de la vía.

- **Drenaje y subdrenaje**

La condición del subdrenaje de un pavimento existente, generalmente tiene gran influencia en el comportamiento de las Sobrecapas de Concreto Hidráulico.

Los daños en la estructura de los pavimentos son ocasionados e incrementados por la presencia del agua, por lo que se hace necesario diagnosticar con precisión los problemas relacionados con ésta y corregirlos si es necesario.

A continuación se describe en forma general una guía para la evaluación del subdrenaje en pavimentos existentes:

- 1. Historia del pavimento y Geometría.**

Consiste en realizar una recopilación de la información, es decir, la revisión de los planos y/o documentos originales del proyecto en lo concerniente a:

- Rasantes longitudinales del proyecto.
- Rasantes transversales.
- Anchos en las capas del pavimento.
- Espesores de las capas.
- Profundidad de los cortes y rellenos.
- Dimensiones en el drenaje superficial (cunetas, alcantarillas, etc.)
- Subdrenaje del lugar.

- 2. Realizar una evaluación de las condiciones Topográficas del proyecto, para conocer**

**información acerca de los siguientes parámetros:**

- La facilidad o dificultad para evacuar el agua de la estructura del pavimento.
  - Si existen ó no planicies de inundación.
- 3. Realizar un estudio de los tipos de suelos existentes, para conocer las propiedades mecánicas, la permeabilidad y su comportamiento en presencia del agua.**
- 4. Estudiar las condiciones de drenaje existente en la estación lluviosa, monitoreando los siguientes parámetros:**
- La dirección en que se mueve el agua en la superficie del pavimento.
  - Zonas puntuales donde se acumula el agua, ya sea que está se acumule dentro o fuera del pavimento.
  - La altura que alcanza el agua en las cunetas.
  - El estancamiento de agua en los hombros.
  - El crecimiento de vegetación a lo largo de la estructura del pavimento.
  - Las socavaciones en las orillas de los pavimentos.
  - La presencia de acumulación de escombros ó materiales finos en las entradas de los subdrenajes ó tuberías de aguas lluvias.
- 5. Si se ejecutaron las obras complementarias para el drenaje en la etapa del proyecto, así como también si se han realizado labores de mantenimiento a las instalaciones de drenaje.**
- **Hombros de la vía.**

Quando se realiza un recarpeteo en los carriles de tráfico de una vía, por lo general también se requiere colocar una Sobrecapa a los hombros con le objetivo de igualar a los niveles de rasante de los carriles de tráfico.

De acuerdo con el material que se seleccione para la Sobrecapa (de Concreto Asfáltico ó Concreto Hidráulico), siempre se debe considerar en el diseño de la Sobrecapa que tan deteriorados están los hombros existentes y el tráfico que soportarán, ya que es común que los

camiones tiendan a estacionarse en los Hombros.

Si un Hombro existente presenta en apariencia buenas condiciones, debe revisarse cuidadosamente y cualquier área deteriorada debe ser rehabilitada para luego colocar una Sobrecapa de modo que el nivel del hombro esté de acuerdo con los carriles de tráfico; pero si el hombro existente se encuentra en una condición muy dañada que no puede reconstruirse desde el punto de vista económico, se debe remover y ser restituido.

La evaluación cuantitativa es el complemento de la evaluación cualitativa, con ella podemos conocer las propiedades que presentan las capas de apoyo de un pavimento.

Dicha evaluación consiste en realizar pruebas de campo y de laboratorio como pueden ser pruebas de placa de carga, CBR, etc. (descritas en el apartado 3.5)

#### **4.1.1.2 Tráfico.**

En el levantamiento físico de las condiciones actuales referente al tráfico se realizan las siguientes actividades:

- Aforos o conteos de tráfico (cuando no existe estaciones de conteo permanente en la zona del proyecto).
- Recopilación de información de estaciones maestras de conteo ó estudios de tráfico confiables que han realizado en las zonas de estudio.

Las actividades mencionadas anteriormente tienen como objeto conocer, todas las características y el comportamiento de tráfico en la zona analizada.

Dichas características y comportamiento del tráfico se analizan en base al apartado 2.3.

## **4.2 DISEÑO DE LA SOBRECAPA DE CONCRETO HIDRÁULICO.**

Antes de utilizar cualesquiera de los Métodos para el Diseño de Sobrecapas de Concreto Hidráulico, es necesario definir cada uno de los parámetros que involucra cada Método de Diseño.

### **4.2.1 Definición de parámetros necesarios para el diseño.**

A continuación se mencionan los Parámetros importantes en el Diseño de Sobrecapas de concreto Hidráulico:

- Cargas por Tráfico.
- Capacidad de Soporte del Pavimento.
- Condiciones Ambientales.
- Nivel de Confianza y desviación Estándar.
- Módulo de Elasticidad y de Ruptura del Concreto.
- Coeficientes de Transferencia de Carga.
- Pérdida de Serviciabilidad del Diseño.

#### **4.2.1.1 Cargas por tráfico.**

Las cargas por Tráfico representan un factor importante en el Diseño de las Sobrecapas de Concreto Hidráulico, por lo que se hace necesario estudiarlo con mucho detalle.

El procedimiento consiste en obtener las cargas máximas por eje y las repeticiones de cargas a que estará sometido el carril de diseño a lo largo de su vida útil. Para lograr esto se necesita definir el número de ejes sencillos de carga equivalentes (ESAL's por sus siglas en Ingles), que consiste en distribuir el tráfico vehicular a cargas inducidas por ejes sencillos equivalentes de 18 Kips ó 8.2 Ton. De peso, que se esperan durante la vida útil o de diseño de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico.

El cálculo del ESAL's se obtiene utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{ESAL's} = \sum \frac{\text{NUMERO DE VEHICULOS POR CATEGORIA} \times \text{FACTOR DE VEHICULO} \times \text{FACTOR DE CARRIL} \times \text{FACTOR DE SENTIDO} \times \text{FACTOR DE CRECIMIENTO}}{1}$$

A continuación se describe cada uno de los términos mencionados y su respectivo procedimiento de cálculo:

- **Numero de vehículos por categoría:** como su nombre lo indica, se refiere al número total de vehículos por categoría, al primer año de servicio, el cual se obtiene utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{No. DE VEHICULOS POR CATEGORIA} = \text{TPDA} \times 365 \times \text{COMPOSICION VEHICULAR.}$$

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

365: Número de días en un año.

Composición Vehicular: es el porcentaje de vehículos para cada una de las categorías (Ver categorías de vehículos en apartado 2.3.6).

- **Factor de vehículo:** se define como el valor que representa la incidencia de carga de un vehículo de una determinada categoría, con respecto al total de ejes sencillo equivalentes de 18 kips.

Este factor se calcula tomando como base el procedimiento descrito en la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO (1993) de la siguiente forma:

1- Se toma como punto de partida el cálculo del **FACTOR DE EJE EQUIVALENTE** para todos los vehículos el cual se define como el número que convierte el total de vehículos de una determinada categoría a una cantidad equivalente de ejes sencillos de 18 kips. tomando en cuenta los siguientes factores:

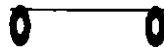
- Índice de Serviciabilidad (Pt).
- La configuración (tipo) de eje para cada categoría de vehículo.
- Espesor estimado del Pavimento (D).
- Carga por eje (en kips) de cada categoría de vehículos.

**Índice terminal de servicio (Pt):** se define como el valor que representa el nivel de rechazo del usuario con respecto a la vía, tomando en cuenta principalmente el nivel de servicio, el cual se define como la manera como un pavimento cumple con su función de hacer cómoda, fácil, rápida y segura la circulación de los vehículos.

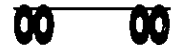
**La configuración de ejes para cada categoría de vehículo:** las cargas de los vehículos se transmiten al pavimento a través de llantas, dispuestas en grupos de "líneas de rotación", llamados ejes.

Estos ejes se clasifican de la siguiente manera:

**Simples:** de una sola línea de rotación



**Tandem:** conformado por dos líneas de rotación (separados entre 1.0 y 1.6 metros)



**Tridem:** conformado por tres líneas de rotación, igualmente separadas en un espacio entre 2.0 y 3.2 metros.



**Espesor estimado del pavimento:** éste valor representa el espesor tentativo de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico a utilizar.

**Cargas por eje (en kips):** es el peso transmitido al pavimento por las diferentes configuraciones de ejes. Esta carga puede variar desde la ocasionada por un vehículo descargado, hasta la máxima posible que depende de la capacidad física del vehículo, la cual, es función de la dimensión y la resistencia de los materiales con los cuales está fabricado (incluido en el catálogo del fabricante).

Para proteger la red vial de la circulación de cargas muy altas la D.G.C. establece unas "cargas máximas legales" (ver apartado 2.3.7) en función de las políticas de conservación y operación de sus redes viales.

- 2- Fijando cada uno de los factores descritos anteriormente, se procede a utilizar las tablas del anexo 1 (que corresponden a las tablas del anexo D de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO), para poder obtener el FACTOR DE EJE EQUIVALENTE, de la siguiente forma:
  - a- Con el índice terminal de serviciabilidad y la configuración del eje se escoge la tabla a utilizar.
  - b- Con la carga por eje (en Kips) y el espesor estimado del pavimento (en pulgadas), se encuentra en la tabla directamente el valor correspondiente al FACTOR DE EJE EQUIVALENTE para cada categoría de vehículo. En caso de no encontrarse directamente se conoce el valor interpolando (en forma geométrica) entre los valores encontrados en la tabla.
- 3- Una vez calculados los FACTORES DE EJES EQUIVALENTE, se procede a multiplicar la cantidad de vehículos en el primer año de servicio por su respectivo factor de eje equivalente para poder convertirlos a 18 kips de ejes equivalentes de carga; para tal efecto se crea una tabla similar a la siguiente (ejemplo de cálculo):

Categoría de Vehículos.	Cantidad de Vehículos (1er. Año de servicio)	Factor de Eje Equivalente	A 18 kips de Ejes Equivalentes de Carga
Automóvil	1,018,000.00	0.0004	4,072.00
Camión C2	2,720.00	1.6865	4,587.28
Camión C3	2,600.00	0.4148	1,078.48

$\Sigma$  9,737.78

- 4- Para obtener el Factor de Vehículo para cada categoría se divide la sumatoria de los ejes equivalentes de carga (a 18 kips) entre la cantidad de vehículos por cada categoría.

En la siguiente tabla se presenta un ejemplo ilustrativo.

Categoría de Vehículos.	Cantidad de Vehículos (1er. Año de servicio) (A)	Sumatoria de ejes equivalentes de carga. (B)	Factor de vehículo para cada categoría. $B \div A$
Automóvil	1,018,000.00	9,737.98	0.0096
Camión C2	2,720.00	9,737.98	3.58
Camión C3	2,600.00	9,737.98	3.74

- **Factor de carril:** es el factor que expresa la relación que existe en la distribución del tráfico cuando dos ó más carriles son usados en una sola dirección.

Para el cálculo de este factor de carril se usa como guía la Tabla 4.2.1.1.1

**TABLA No. 4.2.1.1.1**

No. de carriles en un sentido del tráfico	Porcentaje ESAL's en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos de AASHTO (1993 en el apartado de requerimientos de diseño parte II, pag. 9).

- **Factor de sentido:** éste factor expresa la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación. Este generalmente es de 0.5 (50%).
- **Factor de crecimiento:** es el factor que permite obtener el tráfico total esperado, durante el período de análisis y se determina asignando una tasa de crecimiento  $r$ , al tráfico promedio en toda la vida del proyecto. Así;

$$F_{\text{crecimiento}} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

$r$  = tasa de crecimiento/100.

$n$  = periodo de análisis (en años).

Si el factor de crecimiento es cero, el tráfico actual es el mismo para el periodo de diseño analizado, es decir, que es un tráfico constante a lo largo de su periodo de análisis.

#### **4.2.1.2 Capacidad de soporte del pavimento.**

Conocer la capacidad de soporte de las capas que conforman un pavimento es indispensable en el diseño de la Sobrecapas de concreto hidráulico, ya que las características de resistencia y de esfuerzo-deformación de los materiales de apoyo proporcionan información técnica de que

tan fuerte o débil se encuentra; para determinar dichas características se realizan diversos ensayos de campo y laboratorio entre los cuales están:

- Por penetración (prueba del valor relativo de soporte) y CBR.
- Por resistencia al esfuerzo cortante (mediante pruebas triaxiales y prueba de placa con carga repetitiva).
- Por aplicación de cargas (prueba de placa de carga ensayo con carga no repetitiva).

La capacidad de soporte se puede determinar en forma directa o indirecta dependiendo el tipo de ensayo que se realice. A continuación se describe el procedimiento para determinar la capacidad de soporte por medio de los ensayos mencionados anteriormente

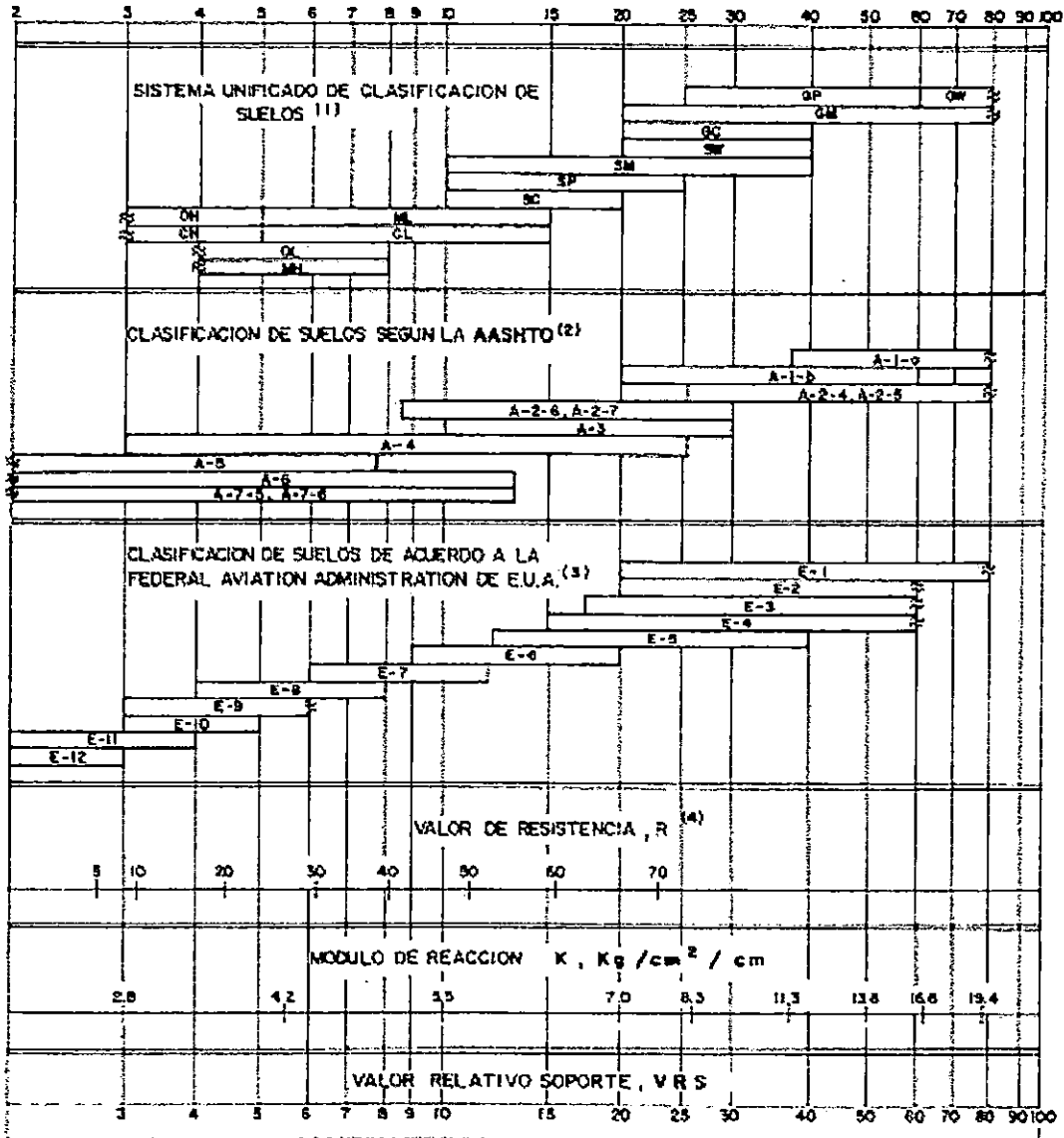
#### **Determinación del modulo de reacción del pavimento, a partir del CBR usando tablas de correlación.**

Por medio de éste ensayo se conoce la capacidad de soporte del suelo de manera indirecta, determinando en primer lugar el valor del CBR (según procedimiento descrito en apartado 3.5.1). Luego, usando la tabla 4.2.1.2.1 que relacionan el valor de CBR, tipo de suelo y módulo de la reacción de la subrasante podemos determinar éste último.

Teniendo presente que el valor de módulo de reacción de la subrasante que se encuentra en tablas corresponde al obtenido mediante un ensayo de placa de carga, utilizando un plato de 30 pulgadas de diámetro.

Tabla 4.2.1.2.1

VALOR RELATIVO SOPORTE, VRS



FUENTE: Portland Cement Association.

### **Determinación del módulo de reacción a partir del CBR usando criterios de la AASHTO.**

Por medio de éste método se conoce la capacidad del soporte del suelo de manera indirecta, de manera similar cuando se utilizan las tablas de correlación. Es decir usando criterios analíticos o formulas que son de mucha utilidad para determinar el módulo de reacción y cuyo procedimiento consiste en lo siguiente:

- Con el valor de CBR obtenido se determina el módulo de Resiliencia del suelo, el cuál es de 750 a 3000 veces el valor del CBR (valor que depende del tipo de material de que está compuesta la capa en estudio), es decir se toma un valor del rango mencionado y se multiplica por el valor de CBR.

$$M_R = 750 - 3000 \times \text{CBR}$$

- Una vez obtenido  $M_R$  se aplica la siguiente fórmula para encontrar el módulo de reacción de la subrasante:

$$K = \frac{M_R}{19.4}$$

El desarrollo de está fórmula esta descrito en el apéndice HH del volumen 2 de la Guía para el diseño de pavimentos de la AASHTO (1993).

- **Ensayo triaxial dinámica y placa de carga repetitiva.**

Con estos ensayos además de encontrar el Esfuerzo Cortante de las capas de apoyo de un pavimento se determina el Módulo de Resiliencia del suelo y de ésta manera se determina el Módulo de Reacción de la Subrasante, según el procedimiento descrito anteriormente.

Estos ensayos fueron brevemente explicados en el apartado 3.2.

- **Placa de carga (ensayo de carga no repetitiva).**

Por medio de éste ensayo se determina de forma directa el Módulo de Reacción de la Subrasante.

Una vez realizado el ensayo (según procedimiento descrito en el apartado 3.5) se construye un gráfico Esfuerzo-Deformación, dividiendo las cargas aplicadas en el ensayo entre el área de la placa utilizada, con el objeto de obtener Esfuerzos y graficarlos contra sus deflexiones respectivas, luego se divide cada esfuerzo por su deflexión correspondiente y se obtienen diversos valores de "K" para tomar como válido el promedio.

Otra manera de obtener el "k" consiste en realizar una corrección al gráfico Esfuerzo-Deformación convirtiéndola en una línea recta que pasa por el origen, tomando como base para convertir el gráfico a una línea recta, los valores que se encuentran en el rango de los 10 a los 30 psi (método del Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A.).

Una vez realizada la corrección al gráfico, el Módulo de Reacción se conoce encontrando la pendiente de la gráfica.

#### **4.2.1.3 Condiciones ambientales.**

Los factores relacionados con las condiciones ambientales son:

- Temperatura.
- Lluvia.
- Drenaje.

Estos factores se involucran en el método de diseño, ya que dependiendo de la facilidad con que pueda salir el agua de las capas que conforman el pavimento, su comportamiento y cambios en las características físicas y mecánicas se verán mas ó menos afectados. El término drenaje que se aplica en éste apartado, es aquel con que cuentan las capas del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, no se trata del "bombeo" superficial de la carretera.

Algunas ideas prácticas que proporciona la AASHTO respecto a las diferentes calidades de drenaje son:

- Drenaje Excelente: el suelo libera el 50% de su agua libre en dos horas.
- Drenaje Bueno: el suelo libera el 50% de su agua libre en un día.

- Drenaje Regular: el suelo libera el 50% de su agua libre en siete días.
- Drenaje Pobre: el suelo libera el 50% de su agua libre en un mes.
- Drenaje Muy Pobre: el suelo no drena.

El coeficiente de drenaje que se emplea en el diseño es denominado como Cd, y según tramos de prueba un valor de Cd =1 no tiene impacto en los espesores del pavimento; valores mayores de tal coeficiente indican buen drenaje y reducen el espesor del pavimento.

En la Tabla 4.2.1.3.1 se presentan los valores recomendados por la AASHTO para Cd aplicables a pavimentos rígidos.

TABLA 4.2.1.3.1 VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.				
	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
Calidad del Drenaje	Menos que 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	Más del 25 %
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos de AASHTO (1993 en el apartado de requerimientos de diseño parte II, pag. 26).

#### 4.2.1.4 Nivel de confianza y desviación estándar.

La confiabilidad en este criterio de diseño se define como la probabilidad de que el sistema de pavimentos se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto bajo las

solicitaciones de carga e intemperismo. Otra manera de interpretar este concepto sería aquella que la probabilidad de que los problemas de deformación y resistencia estén por abajo de los permisibles durante la vida de diseño del pavimento.

El valor de nivel de confianza usado en el diseño se tendrá que elegir tomando en cuenta la importancia del camino, la confiabilidad de todos los parámetros de resistencia de cada una de las capas, así como la predicción del tráfico de diseño.

La AASHTO recomienda los valores que se presentan en la tabla 4.2.1.4.1 para el Nivel de Confianza.

Tabla 4.2.1.4.1 Valores recomendados del Nivel de Confianza atendiendo el Tipo de Camino		
Tipo de Camino	Zonas Urbanas	Zonas Rurales
Autopistas.	85 – 99.9	80 – 99.99
Carreteras de primer orden.	80 – 99	75 – 99
Carreteras secundarias.	80 – 95	75 – 99
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos de AASHTO (1993 en el apartado de requerimientos de diseño parte II (pag. 9).

Una vez asignado un Nivel de Confianza, se debe considerar un valor apropiado para la Desviación Estándar, ya que éste valor puede variar dependiendo del tipo de Sobrecapa a utilizar. La AASHTO recomienda usar valores comprendidos en el siguiente rango de 0.30 a 0.40 para la Desviación Estándar en el diseño de Sobrecapas de Concreto Hidráulico.

#### 4.2.1.5 Módulo de elasticidad y módulo de ruptura del concreto.

El Módulo de Elasticidad del Concreto se puede determinar usando la siguiente correlación recomendada por la American Concrete Institute (ACI), para Concretos de Cemento Portland con peso normal.

$$E_c = 57,000 \sqrt{f_c}$$

Donde:

$E_c$  = Módulo de Elasticidad del concreto (en PSI).

$f_c$  = Esfuerzo de Compresión (en PSI), que se determina usando la Norma AASHTO T-22 ó ASTM C39.

**Módulo de Ruptura del Concreto:** éste es el Módulo requerido en el diseño de Pavimentos y Sobrecapas de Concreto Hidráulico.

Este valor deberá ser el medio obtenido a los 28 días, utilizando una Viga Simple con carga en los tercios del claro, según la norma AASHTO T-97 ó ASTM C78.

La AASHTO recomienda que se utilice la siguiente fórmula para obtener el valor medio del Módulo de Ruptura, debido a que en campo se pueden obtener resistencias iguales o mayores que la especificada en el proyecto.

$$M_r(\text{medio}) = M_{re} + Z (\text{SoDs}).$$

Donde:

$M_r(\text{medio})$  = valor medio del Módulo de Ruptura (en PSI).

$M_{re}$  = Módulo de Ruptura especificada para el proyecto (en PSI).

SoDs = Valor estimado de la Desviación Estándar de  $M_r$  (en PSI).

Z = Desviación Normal correspondiente al porcentaje de resultados menores a la resistencia especificada.

#### 4.2.1.6 Coeficiente de transferencia de carga.

El coeficiente de transferencia de carga está regido por los siguientes factores;

- a) El tipo de pavimento.
- b) La cantidad de ESAL's.
- c) El tipo de juntas: con pasajuntas, sin pasajuntas y con refuerzo continuo.

La AASHTO en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos (1993), recomienda los siguientes valores presentados en la tabla 4.2.1.6.1.

Tabla 4.2.1.6.1 Coeficientes de Transferencia de Carga.							
Millones de Ejes Equivalentes.	Con pasajuntas y Reforzada con Malla.		Juntas sin Pasajuntas (Fricción entre Agregados).		Con Refuerzo Continuo.		Tipo de Pavimento.
	No	Si	No	Si	No	Si	
Hasta 0.3	3.32	2.7	3.2	2.8	-	-	Calles y Caminos vecinales
0.3 – 1	3.2	2.7	3.4	3.0	-	-	
1 – 3	3.2	2.7	3.6	3.1	-	-	
3 – 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Caminos Principales y Autopistas.
10 – 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.3	
Más de 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos de AASHTO (1993 en el apartado de requerimientos de diseño parte II (pag. 28).

#### **4.2.1.7 Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta\psi$ ).**

Se define como el Índice de Serviciabilidad inmediatamente después de la colocación de la Sobrecapa menos el Índice de Serviciabilidad en el momento de la siguiente rehabilitación, es decir:

$$\Delta\psi = P_i - P_t.$$

### **4.3 DISEÑO DEL ESPESOR DE LA SOBRECAPAS UTILIZANDO EL METODO DE LA AASHTO.**

Este método tiene sus orígenes en el experimento vial de AASHTO que se llevó a cabo en Ottawa en el año de 1956, dicho experimento tenía como objetivo obtener relaciones y correlaciones confiables entre el comportamiento de pavimentos diseñados con los mismos criterios, apoyados en suelos similares y en condiciones de tránsito iguales. La superficie de rodamiento construidas fueron:

- Carpetas asfálticas
- Losas de concreto hidráulico sin reforzar.
- Losas de concreto reforzados de manera continua.

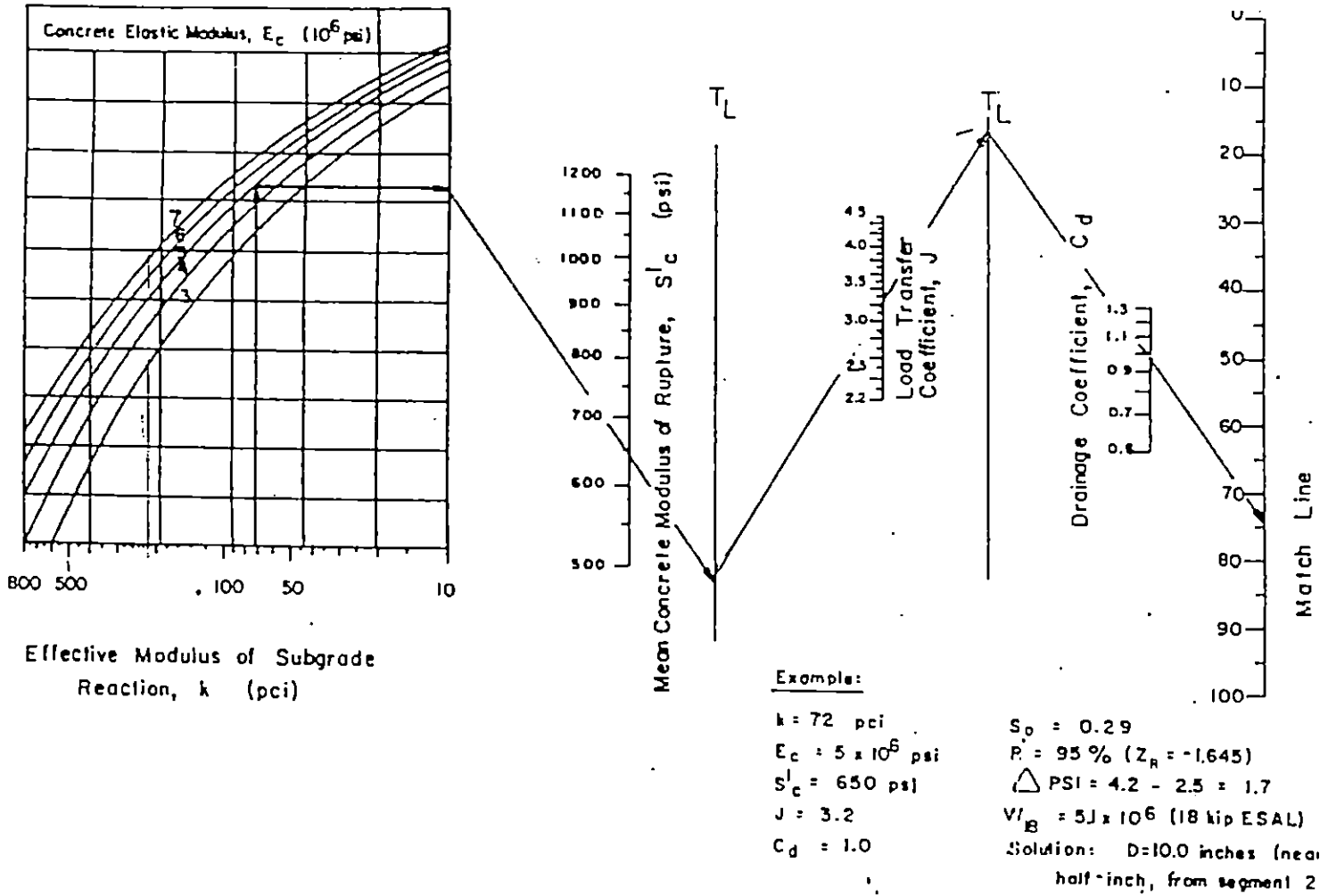
Con base a estos tramos de prueba, se propuso la ecuación de diseño para pavimentos rígido, la cual ha sido modificada desde el inicio de los años sesenta de acuerdo con las observaciones experimentales que han permitido eliminar algunos parámetros de diseño e introducir otros.

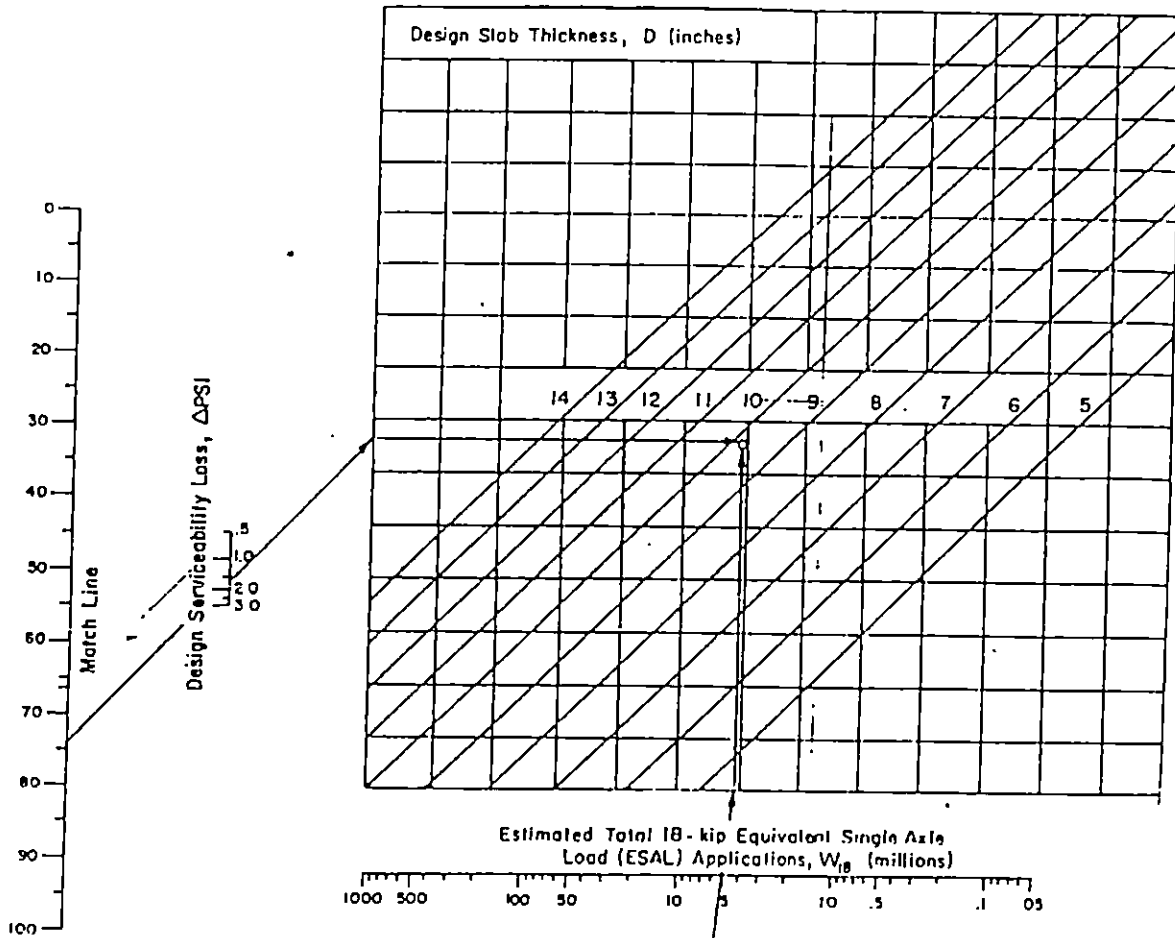
La siguiente relación es la utilizada en la última versión de la ecuación AASHTO, (1993).

$$\text{Log}_{10}(W) = Z_R * S_a + 7.35 * \text{Log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10} \left[ \frac{\Delta \text{ PSI}}{45 - 1.50} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{2.6}}} +$$

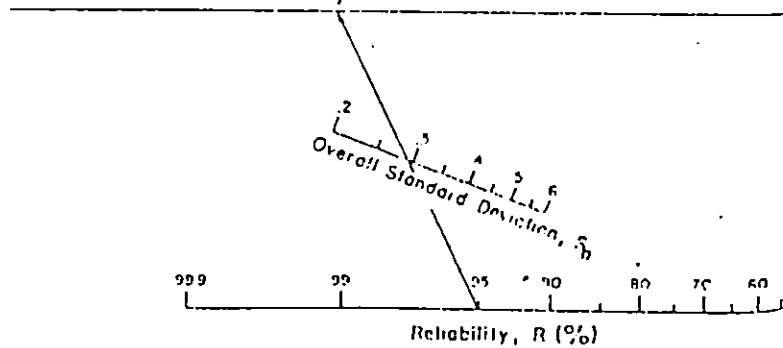
$$+ (4.22 - 0.32 * P_t) * \text{Log}_{10} \left[ \frac{S_a * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left( \frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right]} \right]$$

Esta ecuación se resuelve a través de un nomograma, tal como se muestra en la figura siguiente:





NOTE: Application of reliability in this chart requires the use of mean values for all the input variables.



## USO DE NOMOGRAMA.

Para la utilización de éste nomograma es necesario contar con los siguientes parámetros de diseño:

- Numero de ejes sencillos equivalentes de 18 kips (8.2 ton.) ESAL's
- Módulo de reacción de la subrasante "K" (PCI)
- Módulo de elasticidad del concreto  $E_c$  (PSI)
- Módulo de ruptura del concreto  $S'_c$  (PSI)
- Coeficiente de transferencia de carga.
- Coeficiente de drenaje.
- Pérdida de serviciabilidad del diseño.
- Nivel de confianza del diseño.
- Desviación estándar.

Cuando se han definido todos los parámetros mencionados se inicia el uso del nomograma con el valor del Módulo de Reacción de la Subrasante, se busca en el primer gráfico el Módulo de elasticidad del concreto y se unen por medio de una línea recta, luego se prolonga la línea en forma horizontal y se localiza el Módulo de Ruptura del concreto, prolongando la línea hasta la vertical TL que sirve como pivote, seguidamente se localiza el Coeficiente de Transferencia de carga, trazando la línea hasta la siguiente vertical TL (pivote); luego se intercepta el Coeficiente de Drenaje y se prolonga la línea hasta la vertical Match Line (línea vertical que le da continuidad al nomograma) seguidamente se busca el Valor de Pérdida de Serviabilidad de Diseño ( $\Delta$ PSI), trazando la línea hasta el gráfico de espesores, prolongando seguidamente la línea en forma horizontal.

Luego, se usan los gráficos del nomograma en sentido opuesto al inicial, empezando con el gráfico del Nivel de Confianza, interceptándose posteriormente el Valor de La Desviación Estándar y se traza la línea hasta la horizontal TL (pivote), luego se busca el valor de ESAL's y se prolonga la línea hasta el gráfico de espesores continuando en forma vertical hasta

interceptar la línea horizontal, que se traza cuando opera el nomograma en sentido opuesto. De ésta manera se logra determinar el espesor dependiendo del lugar donde se produjo la intersección.

#### 4.4. DISEÑO DEL ESPESOR DE LA SOBRECAPA DE CONCRETO HIDRAULICO SEGUN EL METODO DE LA PCA.

Existen varios métodos que la PCA sugiere para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, pero el método que se expone en éste apartado es el utilizado para diseñar espesores de concreto sobre asfalto siendo práctico y simplificado el cual consiste en lo siguiente:

- **Soporte del pavimento existente.**

La capacidad de soporte proporcionado por el pavimento asfáltico existente se determina utilizando la tabla 4.4.1 para utilizar dicha tabla se necesita conocer el módulo de reacción de la subrasante (K), además se debe de conocer el espesor total del pavimento existente (capa asfáltica más base). Con éstos datos, la tabla proporciona el módulo de soporte (km), que se utiliza para obtener el espesor del pavimento de concreto.

Tabla 4.4.1				
Módulo de la subrasante K Kg/cm <sup>3</sup>	Módulo de soporte Km, Kg/cm <sup>3</sup> .			
	Espesor existente: Asfalto + Base, cm.			
	10.2	15.2	22.9	30.5
1.4	2.1	2.4	3.4	4.8
2.8	3.9	4.5	5.9	7.8
5.6	6.4	7.6	9.8	14.3
8.4	9.2	10.4	12.9	16.8

Fuente: Portland Cement Association.

Esta tabla considera la contribución de la base granular al soporte del pavimento, más no indica como se incluye la sub-base, en caso de existir. Al respecto la PCA sugiere obtener el espesor equivalente en base granular, tomándola en cuenta o bien no considerarla en los cálculos, en cuyo caso se incluirá un factor de seguridad; aunque no es nada raro que si el pavimento asfáltico ha presentado problemas esto se debe en parte, a la baja contribución de la sub-base al soporte del mismo, por lo que es de mucha importancia considerarla.

- **Cargas vehiculares.**

Según criterios de la PCA, para el diseño de pavimentos que soportarán un tráfico considerable, como el caso de carreteras principales, es necesario contar con un censo vehicular minucioso, para otros casos como accesos residenciales (vías locales), establecimientos en áreas urbanas etc. Se puede clasificar al tráfico de una manera simplificada al respecto, la PCA sugiere clasificar el tráfico de acuerdo con la tabla 4.4.2

Tabla 4.4.2. Tipos de tráfico (seleccione A,B,C o D y úsese en combinación con la tabla 4.4.3).		
1. Estacionamientos para autos y carriles de acceso interiores.		
Tipo A		
Número ilimitado de coches, paneles y camionetas, mas de 2 camiones por semana con cargas axiales hasta de 5450 Kg.		
2. Centros comerciales, entrada y carriles de servicio		
	TIPO B	TIPO C
	Volumen de tráfico en camiones y autobuses	
	Bajo (50-100 por día)	Alto (300-700 por día)
3. Areas para estacionamientos de autobuses.		
	TIPO B	TIPO C
	Area de estacionamiento carriles interiores (autobuses vacíos).	Entrada de carriles exteriores (incluye autobuses cargados).
4. Areas de estacionamientos para camiones.		
Tipo de camión	Areas y carriles interiores.	Entradas y carriles exteriores.
Unidades simples	B	C
Unidades múltiples.	C	D
Cajas de trailer (cargadas).	D	—
Un camión se define como un vehículo con al menos, 6 llantas; se excluyen las camionetas panel, pickups y otros vehículos de 4 llantas.		

Fuente: Portland Cement Association.

- **Espesor del pavimento de concreto.**

Una vez definidos el módulo de soporte existente (km) y el tipo de tráfico al que dará servicio, se determina el espesor mínimo del pavimento de concreto, utilizando la tabla 4.4.3.

Tabla 4.4.3			
Tipo de tráfico	Módulo de soporte del pavimento existente, Kg/cm <sup>3</sup> .		
	Alto Km mayores 7.0	Medio Km entre 3.6 y 6.9	Bajo Km entre 3.5 y 2.1
A	8.9	10.2	11.4
B	14.0	14.0	15.2
C	16.5	17.6	19.0
D	17.8	19.0	20.3

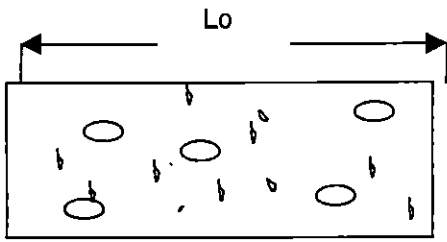
Fuente: Portland Cement Association.

#### 4.5 GENERALIDADES DE JUNTAS EN SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.

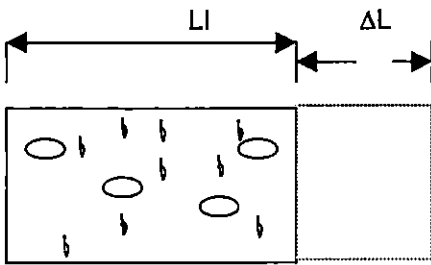
La Sobrecapa ideal de Concreto Hidráulico no debe poseer juntas, es decir, una superficie continua que resista las cargas impuestas por el tráfico, ofrezca una impecable superficie de rodamiento y proteja eficazmente a las capas de apoyo especialmente del agua. Sin embargo existen problemas tanto en las propiedades de los materiales como en los sistemas de construcción vial que exigen la presencia de juntas, las cuales a menudo se convierten en las zonas más débiles de toda la estructura.

En un pavimento de Concreto Simple las juntas son absolutamente necesarias por las siguientes razones:

- Contracción del Concreto (figura 4.5.1).
- Dilatación térmica (figura 4.5.2).
- Discontinuidad en la construcción de Losas (figura 4.5.3).
- Alabeo (figura 4.5.4).

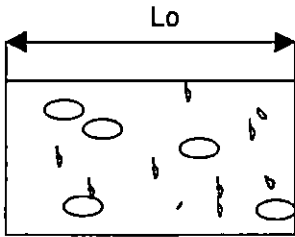


Estado Original de la Losa.

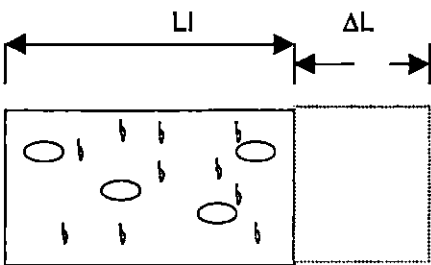


$\Delta L$  : Acortamiento de la Losa debido a la contracción del Concreto.

**Figura 4.5.1**



Estado Original de la Losa.



$\Delta L$  : Alargamiento de la Losa debido a la Dilatación del Concreto.

**Figura 4.5.2**

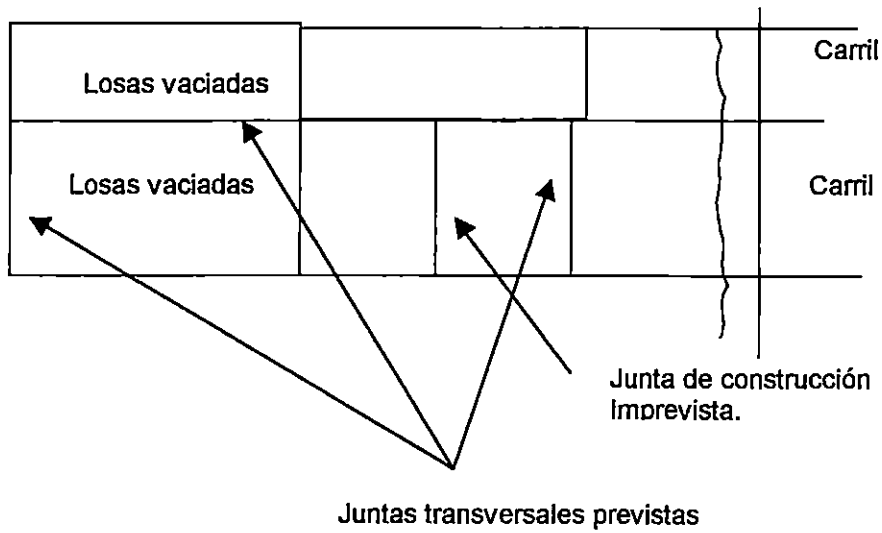


Figura 4.5.3.

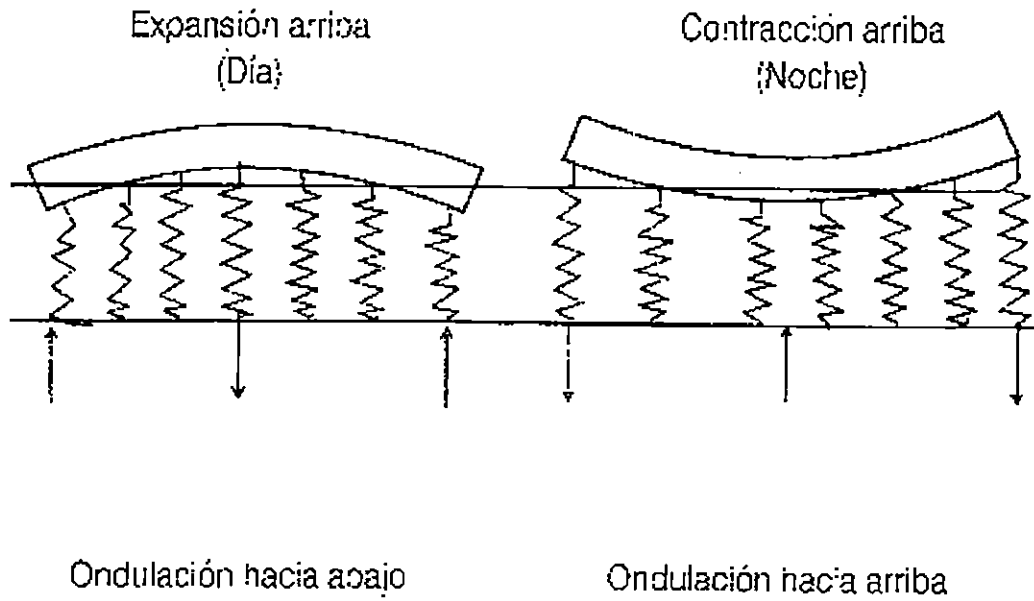


Figura 4.5.4

- Por lo tanto Las Juntas se definen como sistemas que se construyen en los Pavimentos y Sobrecapas de Concreto Hidráulico para controlar el agrietamiento transversal y longitudinal producidos por las razones antes mencionadas, así como también para absorber los movimientos en las losas y proporcionar una transferencia de carga adecuada.

#### 4.5.1 Tipos y clasificación de juntas.

Los tipos de juntas más comunes en Pavimentos ó Sobrecapas de Concreto Hidráulico son:

- Juntas Transversales (son las que están orientadas perpendicularmente al eje de la vía, ver figura 4.5.1.1).
- Juntas Longitudinales (las que están orientadas paralelamente al eje de las Vía, ver figura 4.5.1.2)

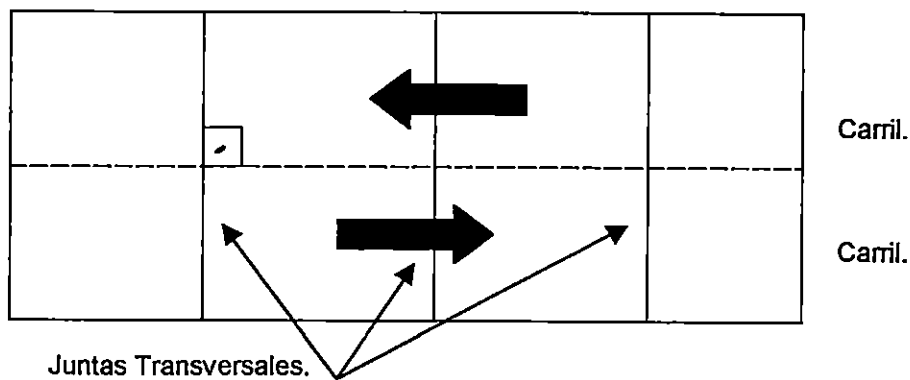
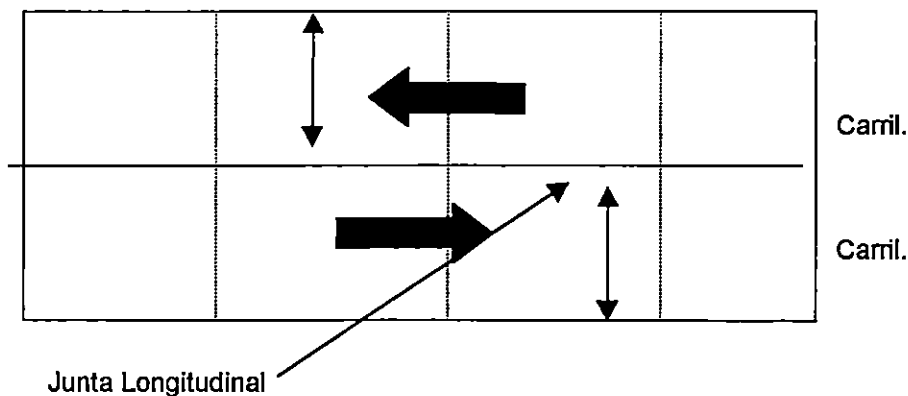


Figura 4.5.1.1



**Figura 4.5.1.2**

Las juntas transversales se clasifican de la siguiente manera:

- **Juntas Transversales de Contracción.**

Son juntas que se colocan perpendicularmente al eje de la vía y se separan entre sí, para controlar el agrietamiento inducido por esfuerzos debidos a contracción y cambios diferenciales de temperatura y humedad (ver figura 4.5.1.3).

Típicamente estas juntas se orientan formando ángulos rectos con el eje del trazo y con la de los carriles del pavimento.

En algunos casos se hace necesario esviajar las juntas de contracción para reducir la carga dinámica a través de la junta, así como también para eliminar la carga simultáneamente transmitida por cada rueda.

Las juntas esviajadas constituyen una variación de las juntas transversales de contracción, que a menudo se usan en pavimentos sin refuerzo y sin pasajuntas.

La orientación del esviajamiento es tal, que el ángulo obtuso en la orilla exterior del pavimento coincide con el lado de la salida de la junta (ver figura 4.5.1.4). Cada una de las ruedas de un eje cruza una junta esviajada en un tiempo distinto. Esta alternativa de cargas reduce los esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto.

El esviajamiento no es un sustituto de las pasajuntas o transferencia mecánica de carga. El

esviajamiento es efectivo para juntas sin pasajuntas, en rutas de bajo volumen de tráfico.

Figura 4.5.1.3

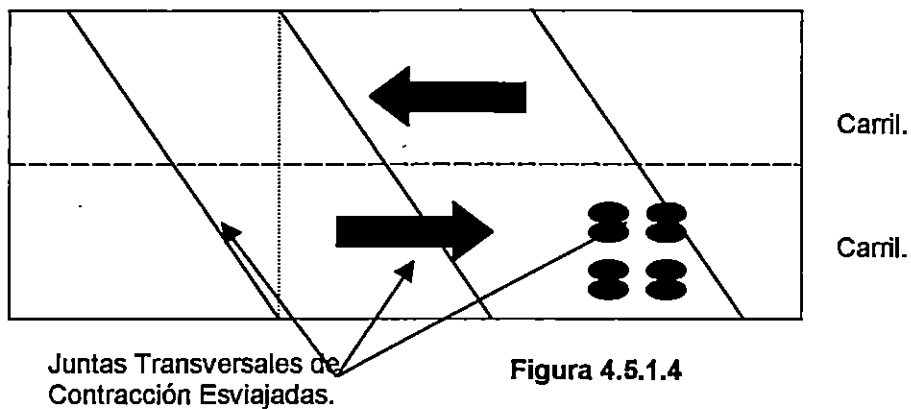
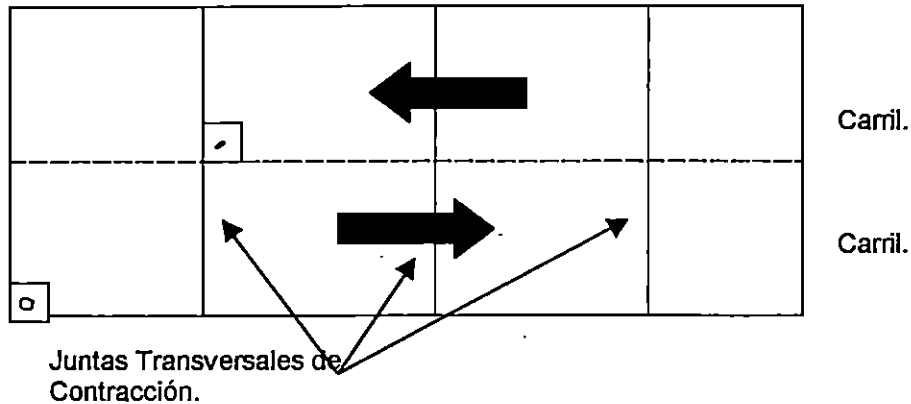


Figura 4.5.1.4

- **Juntas transversales de construcción.**

La construcción de las losas del pavimento de concreto es una labor que tiene necesarias interrupciones, bien sean programadas (fin de jornada de trabajo, ancho de vaciado del equipo, etc.) ó bien imprevistas (daños en los equipos, lluvia, interrupción en el suministro de concreto, etc.).

Dado que la superficie de concreto que ya inició fraguado no presente adherencia con el concreto fresco colocado al comenzar el trabajo, es necesario construir en los puntos de interrupción algún mecanismo que permita la continuidad de transmisión de cargas y el sellado del espacio resultante para evitar la entrada de agua a las capas de apoyo. Tal mecanismo se

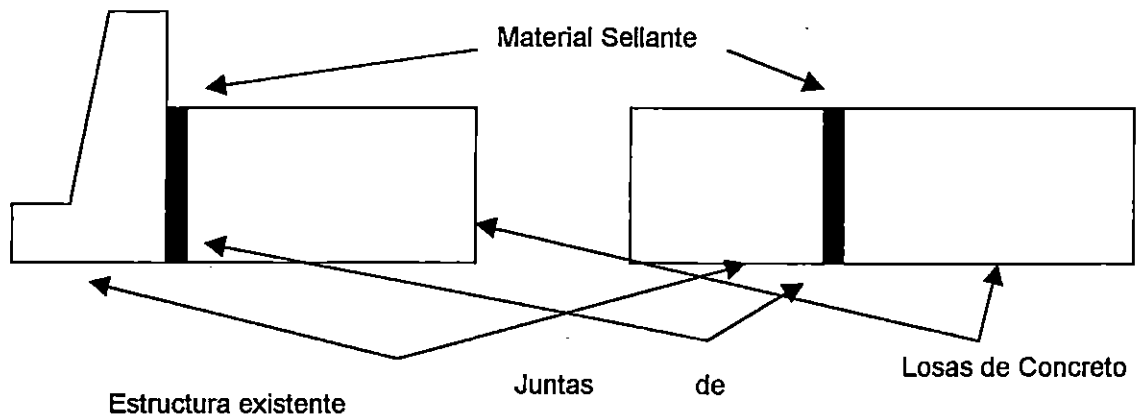
conoce como: JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION.

- **Juntas transversales de dilatación (expansión) / juntas de aislamiento.**

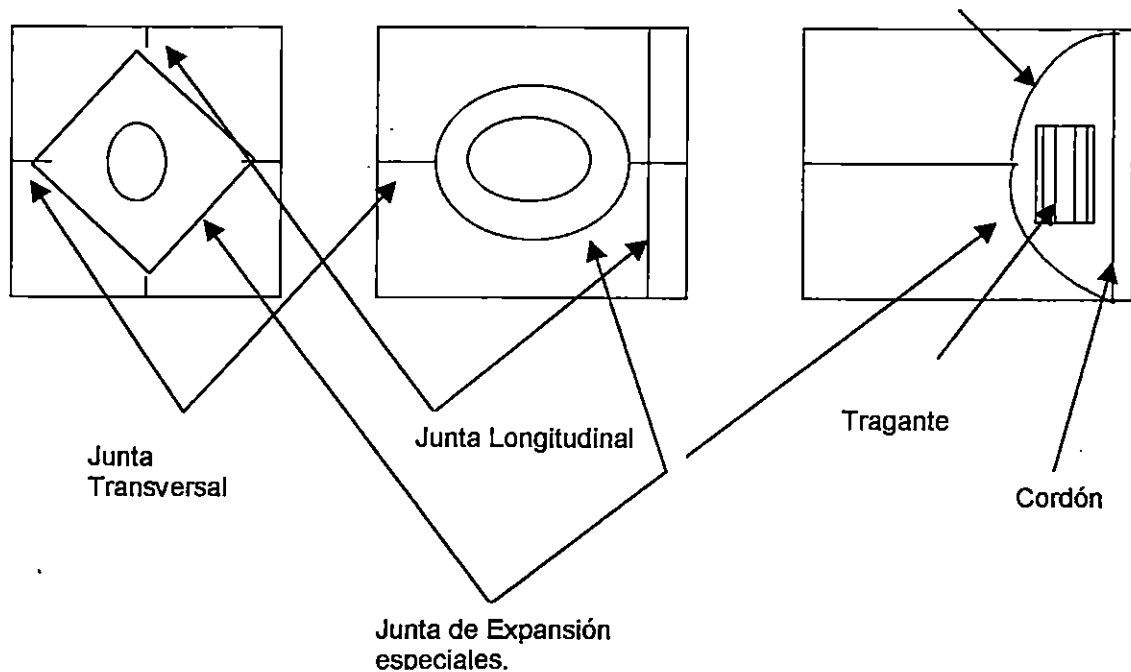
Son aquellas que se colocan en lugares que permitan el movimiento del pavimento, sin dañar las estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje ó el propio pavimento).

En las figuras 4.5.1.5 hasta la 4.5.1.6 se presentan las más comunes.

**Figura 4.5.1.5 (Juntas de expansión).**



**Figura 4.5.1.6 (Juntas de Expansión Especiales).**



Las juntas Longitudinales se clasifican de la forma siguiente;

- **Juntas longitudinales de Contracción.**

Son juntas que dividen los carriles de tráfico y controlan el agrietamiento (producidos por los mismos factores que afectan las juntas transversales de contracción, principalmente el Alabeo), en lugares donde se colocan dos ó más secciones de un mismo carril simultáneamente (ver figura 4.5.1.2).

- **Juntas longitudinales de Construcción.**

La junta longitudinal de construcción se presenta normalmente debido a la limitación en el ancho del equipo de construcción, el cual en la mayoría de los casos solo tiene capacidad de colocar un solo carril, sin embargo siempre se debe construir la junta longitudinal; aunque el equipo pueda vaciar dos carriles simultáneamente para disipar ciertos esfuerzos (en este caso será una junta longitudinal de contracción).

#### **4.6 DISEÑO DE JUNTAS.**

Para diseñar un sistema de juntas en Sobrecapas de Concreto Hidráulico, se deben analizar los siguientes factores:

1. **Condiciones Ambientales:** se analizan debido a que los cambios de temperatura y humedad inducen movimientos en la losa que originan a su vez concentraciones de esfuerzo, alabeo y ondulación.
2. **Espesor de la Losa:** el espesor del pavimento afecta los esfuerzos de ondulación y las deflexiones debidas a transferencia de carga.
3. **Transferencia de carga:** la transferencia de carga es necesaria a través de cualquier junta de pavimento. Sin embargo la magnitud de la transferencia necesaria de carga varía según el tipo de junta.
4. **Tráfico:** las condiciones de tráfico son un factor extremadamente importante en el diseño de las juntas. La clasificación del tráfico, el tráfico desviado y la predominancia de las cargas

de borde afectan los requisitos de comportamiento de las juntas.

5. **Características de los materiales para concreto:** dichos materiales seleccionados para fabricar el concreto determinan la contracción de la losa. El agregado grueso afecta el coeficiente térmico del concreto y los materiales de mala calidad tiene un efecto perjudicial en el comportamiento de las juntas ya que se encuentran a lo largo de las juntas.
6. **Tipo de Pavimento:** los valores de apoyo y las características de fricción entre superficies de contacto de los diferentes tipos de pavimentos, afectan el movimiento y apoyo de las losas.
7. **Diseño del hombro:** el tipo de hombro (concreto ligado, asfalto) afecta el apoyo en los bordes y la capacidad de las juntas de eje principal para transmitir la carga.
8. **Características del Sellador:** la separación de las juntas afectará el tipo de sellador seleccionado, así como los factores de forma adecuadas y los costos de ciclo de vida.

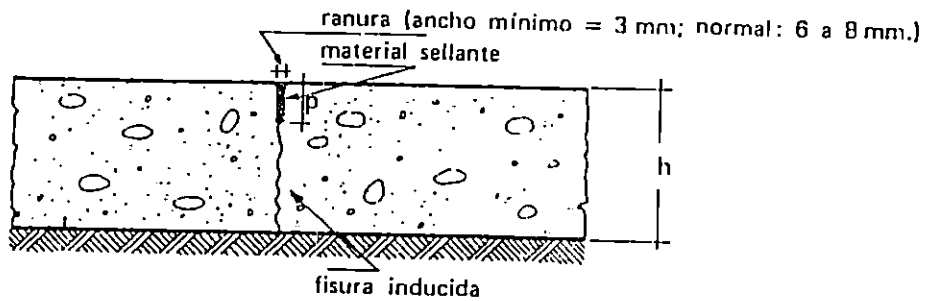
#### **4.6.1 Mecanismos de transferencia de carga en las juntas.**

La transmisión de las cargas del tráfico de una losa a otra adyacente a través de las juntas, puede llevarse a cabo por uno o varios de los siguientes medios:

##### **1. Trabazón de agregados:**

El sistema consiste en marcar una ranura en la superficie del concreto de tal manera que la sección quede disminuida y permita el agrietamiento espontaneo del concreto, normalmente la fisura se extiende a través de la parte cementante y deja intactos los agregados, es la trabazón de los agregados de dos caras vecinas lo que proporciona la resistencia necesaria para la transmisión de cargas. (ver figura 4.6.1.1)

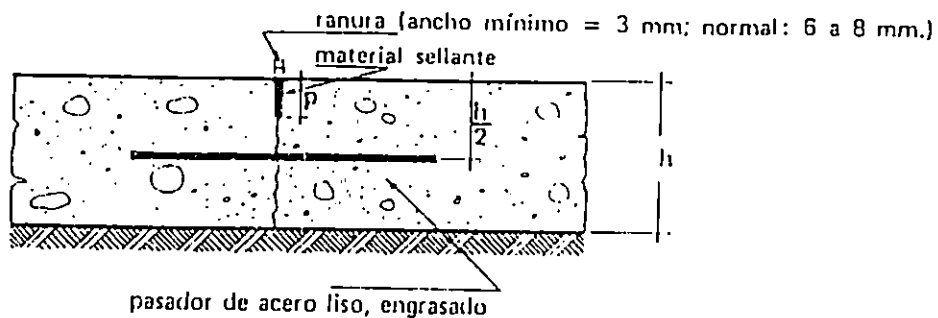
Figura 4.6.1.1



## 2. Pasadores:

En condiciones de tráfico pesado y de clima severo, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de agregados mediante el empleo de barras de acero liso, denominados pasadores que conectan entre sí las losas por juntas. Este tipo de mecanismos transmite tanto fuerzas de como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, debido a esto por lo menos una mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea (ver figura 4.6.1.2) así mismo esta libertad de movimiento horizontal exige que los pasadores de una junta sean todos paralelos al eje de la calzada.

Figura 4.6.1.2





- El aserrado de juntas debe de ser  $\frac{1}{4}$  del espesor nominal de losa para juntas transversales y para juntas transversales y para juntas longitudinales  $\frac{1}{3}$  del espesor, aunque se puede uniformizar a  $\frac{1}{4}$  del espesor.

## 2) ACPA

- Los aspectos relacionados con la separación entre juntas para proyectos de sobrecapas de concreto, son generalmente los mismos que se aplican a pavimentos nuevos.
- El espaciamiento máximo entre juntas (en pies) no debe exceder el doble del espesor de la losa (en pulgadas).
- El aserrado para juntas transversales no debe ser menor de  $\frac{1}{3}$  del espesor nominal de la sobrecapa, la misma profundidad se deberá usar para las juntas longitudinales.
- Una ranura más profunda se debe hacer donde el espesor de la sobrecapa varíe más de 2.5 cm. Con respecto al espesor nominal, cuando la sobrecapa es colocada sobre distorsiones (roderas) mayores de 5 cm. (Figura 4.6.2.1).

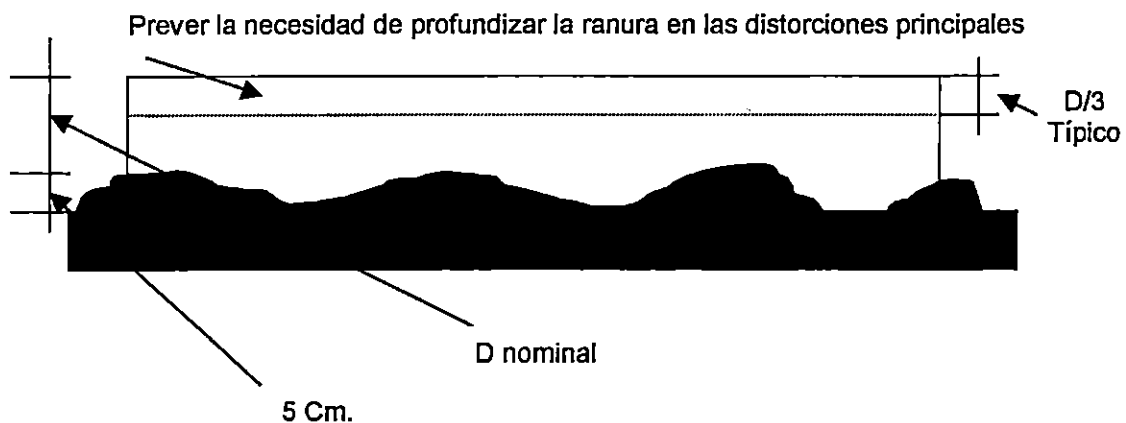


Figura 4.6.2.1.

## 3) PCA.

Adopta criterios de la AASTHO, pero sugiere profundizar en los aspectos siguientes:

- Estudios teóricos del comportamiento de losas de concreto.

- Pruebas de laboratorio, en modelo y a escala natural.
- Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico de vehículos controlados.
- El rendimiento de proyectos especiales de juntas experimentales.
- El rendimiento de pavimentos de calles y carreteras sujetos a tráfico normal y mezclado.
- Cuando la sobrecapa de Concreto Hidráulico necesite pasadores en las juntas de contracción, estos se escogerán de acuerdo con la tabla 4.6.2.1, calculados por la PCA con base en consideraciones teóricas y ensayos de campo y laboratorio.

**TABLA 4.6.2.1 DIAMETROS RECOMENDADOS PARA PASAJUNTAS EN JUNTAS DE SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.**

Espesor del pavimento (pulg.)	Diámetro de la pasajuntas (pulg.)	Longitud de la barra (cm)	Separación entre centros (cm)
4	No son necesarias		
5	No son necesarias		
6	No son necesarias		
7	No son necesarias		
8	1.25		
9	1.25	38	30
10	1.5	38	30
11	1.5	41	30
12	1.5	41	30

Fuente: Guía para el diseño de Sobrecapas de Concreto Hidráulico de la PCA.

#### 4) REGLAS EMPIRICAS DE BUENA PRACTICA.

- La separación entre juntas depende de los siguientes aspectos:
  - Espesor de sobrecapa.
  - Condiciones climáticas de la zona.

- Disposición o no de pasadores en las juntas.
- En el caso de climatológicas suaves no deberá ser superior a veinticinco veces el espesor de losa.
- En zonas con fuertes variaciones de temperatura entre el día y la noche, dicha distancia deberá reducirse a quince o dieciocho veces el espesor, pudiendo usar separaciones mayores en el caso de estar las juntas provistas de pasadores.

#### **4.6.3 Materiales y propiedades de los sellantes.**

Existen muchos materiales aceptables para el sellado de juntas, por lo general se clasifican en Líquidos o Preformados.

Los selladores líquidos pueden aplicarse en caliente o en frío, además pueden ser de uno o dos componentes y ser autoenrasables o labrables todos estos selladores dependen de la adherencia a largo plazo con la cara de la junta.

Los selladores preformados (selladores de compresión) dependen de la recuperación de la compresión a largo plazo para conseguir un asentamiento adecuado. Las propiedades de los selladores dependen de la aplicación específica y de las condiciones climáticas de la obra, entre las propiedades que deben de tomarse en cuenta están las siguientes:

- **Elasticidad:** Es la capacidad de un sellador para recuperar sus dimensiones originales después de estirarse o comprimirse.
- **Bajo módulo:** Es el cambio en los esfuerzos internos de un sellador mientras se estira o se comprime dentro de una gama de temperaturas. Es deseable un bajo módulo y es de especial importancia en climas fríos.
- **Adhesión:** Es la capacidad de un sellador para adherirse al concreto. La adhesión inicial y la adherencia a largo plazo son igualmente importantes. (No se aplica a selladores de compresión).

- **Cohesión** : Es la capacidad de un sellador de resistir el desgarre inducido por esfuerzos de tensión. (No se aplica a selladores de compresión).
- **Compatibilidad**: Es la reacción relativa del sellador respecto a los materiales con los cuales entra en contacto.
- **Alterabilidad**: Es la capacidad de un sellador para resistir el deterioro al ser expuesto a los elementos atmosféricos (Sobre todo los rayos ultravioleta del sol y el ozono).

En la tabla 4.6.3.1 se presentan los materiales más comunes para el sellado de juntas, así como descripciones y especificaciones de la mayor parte de selladores.

**Tabla 4.6.3.1**

MATERIALES MAS COMUNES PARA SELLADO DE JUNTAS.		
TIPO DE SELLADOR	ESPECIFICACION	PROPIEDADES
Selladores aplicados en caliente: Con base de asfalto polimérico  Sellador polimérico Bajo módulo Sellador elastomérico Alquitrán de hulla, PVC	AASHTO M0173 ASTM D3405 SS-S-1401 C ASTM D1190 ASTM D3405 Modificado, SS-S-1614 ASTM D3406	Autoenrasante Autoenrasante Autoenrasante Autoenrasante Autoenrasante Autoenrasante Autoenrasante
Selladores aplicados en caliente/compos. Indiv. Sellador de Silicón. Sellador de Silicón. Sellador de Silicón. Sellador de hule nitrilo. Sellador de polisulfuro.	N.A. N.A. N.A. N.A. N.A.	No pegajoso, con herramientas, bajo módulo. Autoenrasante (sin herramientas), bajo módulo. Autoenrasante (s/ herramits.), ultra bajo módulo. Autoenrasante (con o sin herramits), bajo módulo. Autoenrasante (sin herramientas), bajo módulo.
Policloropreno elastomérico preformado (sellos de compresión) Sellos de compresión preformados. Adhesivo lubricante	ASTM D2628-81 ASTM D2835	Deformación unitaria Permisible de 20-50%
Materiales de relleno para juntas de dilatación preformadas:  Material de relleno preformado  Material de relleno preformado  Material de relleno preformado	ASTM D1751 AASHTO M213 ASTM D1752 AAHTO M 153 ASTM D994 AAHTO M 33	Bituminoso, resilente.  Hulespuma  Bituminoso.

Fuente: A.C.P.A.

#### **4.7 ACTIVIDADES PREVIAS AL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.**

En la construcción de una Sobrecapa de Concreto Hidráulico sobre un pavimento existente de asfalto (Whitetopping), se hace necesario realizar una reparación previa a la colocación de la Sobrecapa y la corrección de las principales irregularidades en el perfil de la superficie.

La construcción de la Sobrecapa se hace directamente sobre la superficie del pavimento flexible existente, sin tener que eliminar o reparar la base, sub-base ó la subrasante en toda la extensión del proyecto.

##### **4.7.1 Reparación de áreas deterioradas y realización de mejoras en el drenaje.**

Las reparaciones para colocar una sobrecapa son mínimas, solo grandes áreas con daños serios necesitan repararse, las reparaciones se hacen para garantizar un apoyo uniforme; las zonas que presenten fallas en la subrasante y que no proporcionen un apoyo uniforme a la sobrecapa, necesitan que se les realice un bacheo profundo para la colocación de la sobrecapa. En la tabla 4.7.1.1 se presenta una guía para las reparaciones necesarias en fallas de pavimentos asfálticos existentes.

Tabla 4.7.1.1

CONDICION GENERAL DEL PAVIMENTO	TRABAJO DE REPARACION A REALIZAR
Formación de roderas menores de 5 cm.	Ninguno
Formación de roderas mayores de 5 cm.	Fresado o nivelación
Dislocamiento	Fresado
Baches	Rellenar con piedra triturada, mezcla en frío o caliente.
Falla de la subrasante	Eliminar y reparar.
Grietas piel de Cocodrilo	Ninguno, si se utiliza sobrecapa convencional.
Agrietamiento en bloques	Ninguno.
Agrietamiento transversal.	Ninguno
Agrietamiento longitudinal	Ninguno
Desgaste	Ninguno
Exudación	Ninguno

FUENTE: FOLLETOS TECNICOS SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE LA A.C.P.A.

Una vez realizadas las reparaciones previas se procede a realizar un estudio de los perfiles transversales para calcular el volumen de concreto, que se necesita para la sobrecapa. Una vez estimado dicho volumen, se realiza la colocación directa de la sobrecapa.

En cuanto al drenaje deben realizarse, todas las mejoras que fueren necesarias.

#### **4.7.2 Fresado de la superficie existente o colocación de una capa de nivelación de concreto asfáltico.**

El fresado es una actividad que se realiza en ciertas áreas del pavimento asfáltico existente, que presenta distorsiones importantes o declives transversales, este se realiza con una maquina fresadora de perfil o de fresado, el cual sirve para remover un espesor comprendido entre 2.5 a 7.5 cm.; el fresado se realiza especialmente si la profundidad de las roderas es superior a los 5 cm.

Con el fresado se establece la rasante final y puede ajustarse la pendiente transversal si es necesario, para poder proceder a la construcción de la sobrecapa sobre una base nivelada.

#### **- Colocación de una capa de nivelación de concreto asfáltico**

Generalmente la utilización de una capa nivelación, es un método menos efectivo desde el punto de vista económico para conseguir una superficie uniforme para la colocación de la sobrecapa. Los espesores utilizados en las capas de nivelación varían entre 2.5 y 5 cm.

La capa de nivelación es una opción si la superficie del pavimento asfáltico existente presenta distorsiones y no se desea realizar el fresado en la superficie.

Entre las desventajas que se presentan en la colocación de una capa de nivelación tenemos:

- a) Incremento significativo en los costos del proyecto.
- b) Se incrementa el periodo constructivo, generando inconveniencias a los usuarios, por no haber una apertura rápida de las vías.

## 4.8 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO.

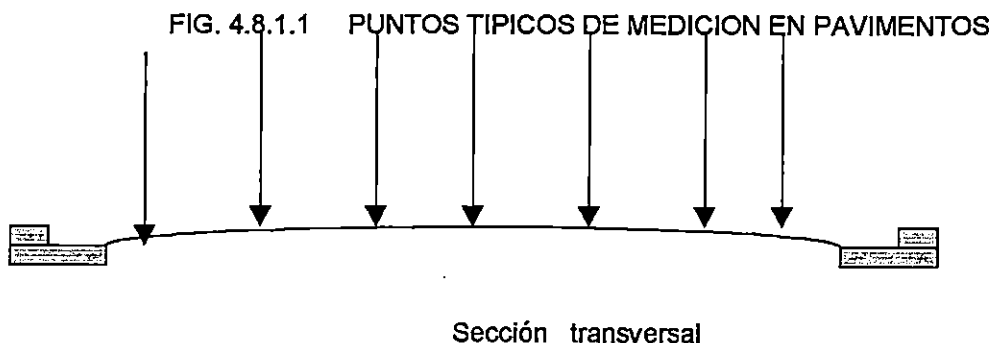
### 4.8.1 Colocación y acabado del concreto

- **Colocación del concreto**

En algunos casos no es necesario el fresado ni la nivelación u otros procedimientos para obtener una superficie uniforme antes de colocar la sobrecapa de concreto hidráulico.

Cuando se presenta esta particularidad las deformaciones (< de 5 centímetros) se rellenen con la propia sobrecapa de concreto hidráulico, cuando se no presenta este caso es necesario realizar una nivelación topográfica.

Generalmente la nivelación topográfica se realiza en la superficie distorsionada, necesitándose entre siete y nueve puntos de medición de la sección transversal para una vía de dos carriles, como puede observarse en la siguiente figura 4.8.1.1



Estas mediciones se realizan comúnmente en los bordes del pavimento, a lo largo del eje de trazo y en las deformaciones que presenta el pavimento. Usualmente se fijan dos cordeles guía de alineación a lo largo de la vía, estos proporcionan un control excelente de la rasante dando lugar a un pavimento uniforme, sin embargo las condiciones del proyecto son las que a menudo gobiernan los procedimientos constructivos.

En los casos donde no es necesario el fresado ni la capa de nivelación, antes de realizar el

trabajo de pavimentación la superficie de asfalto debe limpiarse perfectamente con cepillo de cerdas duras, removiendo todo el material suelto. Para la limpieza puede usarse chorro de agua o aire a presión.

La colocación del concreto resulta más rápida y sencilla cuando se utiliza concreto premezclado ya que, la descarga se hace directamente del camión por medio de su vertedor sobre el área que se requiera, complementando la colocación con el uso de carretillas y palas, relleno de toda el área. Posteriormente se logra el acomodo y la nivelación final del concreto por medio de reglas vibratorias, cuando la colocación se hace utilizando moldes o cimbras fijas (figura 4.8.1.2).

Cuando el concreto se coloca con pavimentadoras de cimbras deslizantes, la colocación resulta aun más sencilla ya que la pavimentadora extiende y vibra mecánicamente el concreto por medio de rodillos de distribución, además, mantiene el espesor constante (figura 4.8.1.3).

#### Colocación del Concreto



Figura 4.8.1.3 Moldes deslizantes

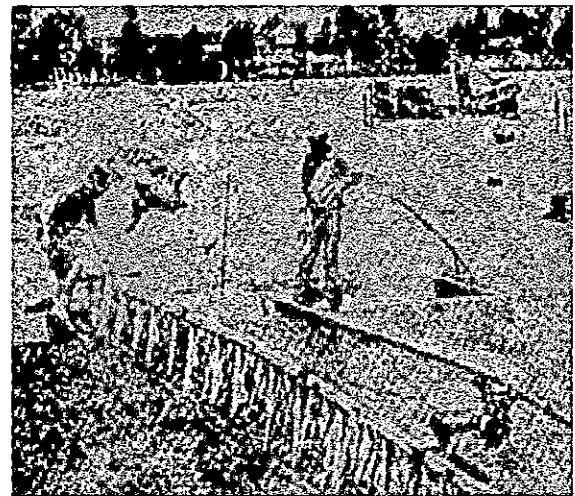


Figura 4.8.1.2 Moldes Fijos

- **Acabado del concreto (figura 4.8.1.4).**

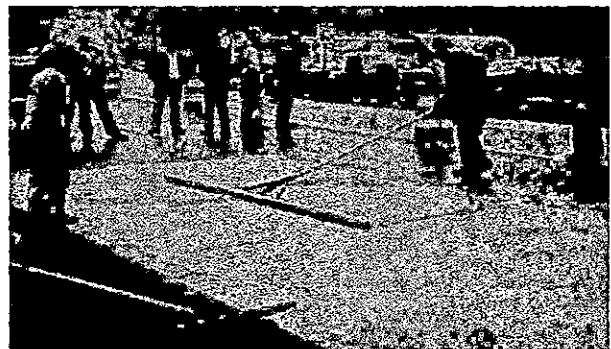
Se puede aplicar gran variedad de patrones de textura resistente al deslizamiento en las superficies de concreto, el método de texturización elegido debe ser compatible con la velocidad y densidad tráfico, así como con la geometría de la sobrecapa.

Una textura adecuada y resistente al deslizamiento de llantas puede construirse, empleando alguno de los siguientes métodos de texturización:

- Arrastre con sacos de yute.
- Escobillado.
- Cepillado con cerdas de alambre o metálicas.
- Cepillado con cerdas plásticas.
- Etc.

Para el caso de autopistas y de otras redes primarias el escobillado utilizando cerdas metálicas, proporciona una resistencia antiderrapante excelente a largo plazo, para el caso de proyectos en donde las velocidades de tráfico son bajas con el uso de sacos de yute o "astro turf" es suficiente, para dar la textura superficial adecuada.

**Figura 4.8.1.4 Acabado del concreto**



#### 4.8.2 Aserrado y sellado de juntas

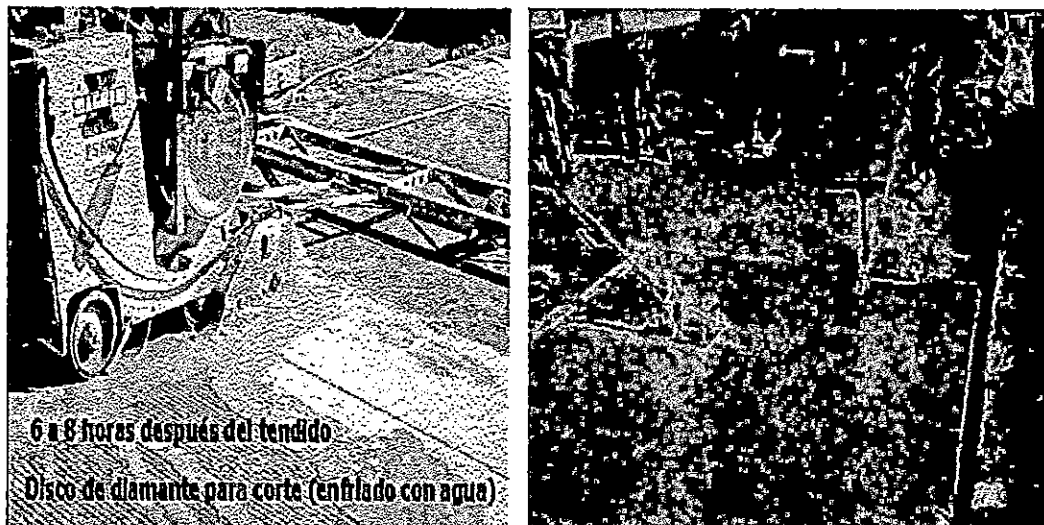
- **Aserrado de juntas (Figura 4.8.2.1).**

Toda junta longitudinal o transversal, debe ajustarse a los detalles y posiciones señalados en los planos; estas juntas se deben aserrar tan pronto como sea posible, antes de que se presenten esfuerzos iniciales en la sobrecapa de concreto hidráulico.

El aserrado con disco es el método más confiable para controlar las juntas transversales de contracción. El corte inicial del disco proporciona un plano de debilidad en el que se iniciará el agrietamiento, puede necesitarse una segunda operación de aserrado para lograr la forma necesaria para que el sellador tenga un buen comportamiento.

En caso que se especifiquen pasajuntas, un obrero deberá marcar el centro de la varilla, con esto se garantizará que el corte del disco quede centrado con respecto a las pasajuntas.

**Figura 4.8.2.1 Aserrado de juntas**



- **Sellado de juntas.**

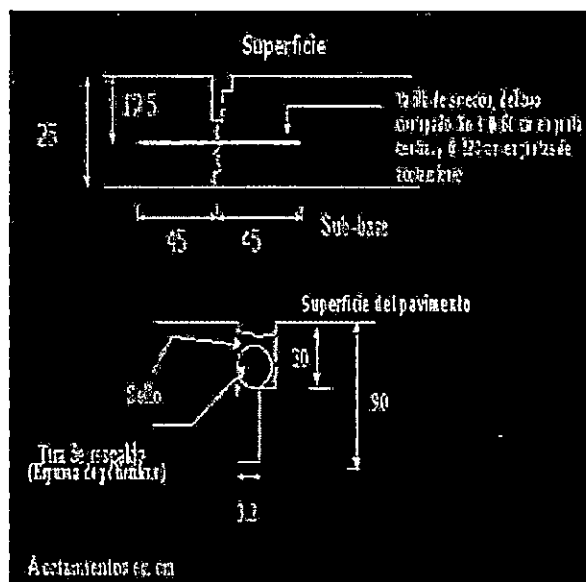
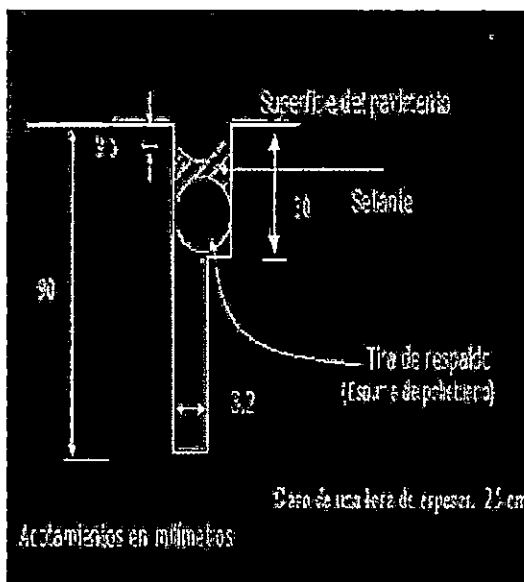
Antes de colocar el material sellador, la abertura de la junta debe limpiarse bien, hasta eliminar toda materia extraña, todas las caras de contacto de la junta deben limpiarse para remover el material suelto.

La función del sellador de las juntas es la de minimizar la infiltración superficial del agua hacia la estructura del pavimento, así como evitar que partículas incomprensibles penetren en la junta.

Cuando se pueda realizar el aserrado y sellado de juntas en el concreto fresco, debe tenerse especial cuidado de eliminar la cubierta de la lechada depositada a lo largo de los lados del corte de la sierra para poder evitar el paso de la humedad y arrastre de partículas incomprensibles hacia el sistema de la Sobrecapa, ya que estas partículas inducen presiones aplicadas puntuales que pueden dar lugar a Desmoronamientos.

Se debe de seleccionar un material de sellado para que satisfaga los criterios de comportamiento y de costo, siendo el factor principal para la selección del sellador el movimiento esperado de la junta.

**Sellado de juntas.**



#### **4.8.3 Curado de la sobrecapa de concreto hidráulico.**

Es un proceso que tiene como objeto mantener un contenido de humedad adecuado y una temperatura favorable en el concreto, el curado es la última y es una de las más importantes etapas de la construcción, ya que asegura la hidratación del concreto hasta que se desarrollen las propiedades requeridas (resistencia y durabilidad) hasta alcanzar las exigencias del servicio, obteniéndose también que el concreto sea más resistente al ataque químico y al desgaste por tráfico y más impermeable. Es esencial y de mucha importancia el curado especialmente si la superficie va a tener que soportar tráfico vehicular.

- **Técnicas utilizadas para el curado:**

Existen dos formas básicas de curar el concreto: La primera consiste en conservar la superficie húmeda mediante varios métodos los cuales son:

- a) Inundación
- b) Rociado y
- c) Arena húmeda o tela húmeda.

La segunda evita la pérdida de humedad del concreto, mediante la técnica de cubrir el concreto con hojas de polietileno.

A continuación se describen en una forma breve cada uno de estos métodos:

- a) **Inundación:** Es un método eficiente para evitar la pérdida de humedad del concreto, consiste en formar diques de tierra o arena alrededor del perímetro de la superficie de concreto, el cual retiene el agua y forman un charco dentro del área encerrada.
- b) **Rociado:** El rociado continuo con agua, es un método excelente de curado, teniendo siempre el cuidado de evitar que el concreto se seque entre las aplicaciones de agua.

El agua empleada para el curado deberá estar libre de materia orgánica, aceites, sales, ácidos u otras sustancias que puedan afectar el concreto, el análisis del agua se hará de acuerdo a las normas AASHTO correspondientes.

c) **Recubrimientos húmedos:** Los recubrimientos húmedos tales como tela u otros tejidos, así como los recubrimientos mojados de tierra o de arena son efectivos para el curado.

Los recubrimientos con tela deberán colocarse tan pronto como el concreto se haya endurecido lo suficiente para evitar daños a la superficie, teniendo el cuidado de cubrir la superficie entera, incluyendo las orillas de la sobre capas, este recubrimiento se tendrá que tener húmedo constantemente de manera que una película de agua permanezca sobre la superficie de concreto todo el tiempo que dure el curado.

Los recubrimientos con tierra o arena es con frecuencia útil en áreas pequeñas debido a su alto costo, se tendrá que distribuir uniformemente la tierra o arena húmeda sobre la superficie de concreto, la cuál deberá conservarse continuamente mojada.

- **Hojas de polietileno:** Este método se puede fijar más fácilmente sobre superficies tanto horizontales como verticales, y es una manera simple pero efectiva de conservar la humedad en el concreto, las hojas de polietileno son fáciles de manejar y almacenar y tienen la ventaja de poderse volver a utilizar para el curado del concreto en una fecha posterior, se deben de colocar sobre las sobrecapas cuando el concreto este lo suficientemente duro para evitar daño o marcar en la superficie, hay que esperar que la brillantez del agua se haya evaporado, pero no tanto tiempo como para que el concreto comience a secarse bien.

Algunas consideraciones importantes en el uso de hojas de polietileno son las siguientes:

- 1) Cuando la superficie de la losa tiene un acabado especial tal como una textura, el polietileno deberá extenderse sobre marcos ligeros arriba del concreto, en éste caso el curado puede comenzar inmediatamente después de haberse terminado la sobre capas.
- 2) Las orillas y esquinas de la hoja deben estar bien fijadas hacia abajo, de lo contrario el viento crearía un efecto de túnel que secaría la superficie del concreto.
- 3) Si fuera necesario utilizar más de una hoja, habría que sobreponer una y otra en un espacio de por lo menos 30 cm. y pegar las uniones.

- **Compuestos para curado:**

Los compuestos para curado se rocían sobre la superficie y se pueden emplear sobre superficies tanto verticales como horizontales, es importante escoger siempre el tipo correcto de compuesto, en su mayor parte el compuesto está seco, después de haber sido aplicado, lo que deja una película o membrana continua que sella. Esta membrana impermeable deberá cumplir con la norma AASHTO-M148.

Los compuestos con pigmento blanco o aluminio son recomendables para áreas pavimentadas externas porque reflejan los rayos del sol, lo que conserva el concreto más fresco.

Algunas consideraciones a tomar en cuenta en el uso de compuestos son las siguientes:

- Nunca se deberán aplicar a superficies secas, puesto que estas las absorberían, y esto es señal que el curado se ha aplicado demasiado tarde.
- Hay que asegurarse de tener a la mano en existencia la cantidad suficiente para el trabajo, se necesita aproximadamente 1LT por cada 4m<sup>2</sup> de área de la superficie.
- Siempre hay que usar gafas, guantes y máscaras de protección.
- Se debe agitar el compuesto antes de usarlo y se deberá de hacer el rociado a unos 30 ó 50 cm. de la superficie, haciéndose más cerca cuando haya viento.
- Se debe cubrir todo el concreto con una capa uniforme.

#### **4.9 LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA COLOCACION DE LAS SOBRECAPAS, UTILIZANDO TECNICAS DE APERTURA RAPIDA AL TRAFICO (FAST TRACK).**

##### **Generalidades.**

El crecimiento del tráfico vehicular en toda ciudad, es el problema más importante a considerar en el momento de solucionar los problemas de reparación o reconstrucción de las vías, debido a las interrupciones que ocasiona a éste y a los inconvenientes que genera; la construcción de pavimentos de concreto de apertura rápida puede ayudar a resolver estos problemas. El proceso constructivo de apertura rápida puede adaptarse a todos los tipos de vías incluyendo las Sobrecapas adheridas al asfalto existente (Whitetopping).

Este tipo de tecnología proporciona resultados de alta calidad y de gran duración con tiempos mínimos de construcción, siendo el objetivo principal de cualquier proceso de construcción de pavimentos el de proporcionar a la ciudadanía un nuevo pavimento de alta calidad al costo más bajo y con el mínimo de molestias.

Con la tecnología de construcción rápida se pueden diseñar las mezclas de concreto y las técnicas de curado, para inducir el desarrollo de las resistencias de puesta en operación necesarias en intervalos que oscilan entre 24 horas y un mínimo de 6 horas.

Este tipo de alternativas para la construcción y reconstrucción de pavimentos se determina a partir de estudios de factibilidad, así como en el desarrollo de planes escalonados de construcción y control de tráfico aplicándose esta tecnología donde los patrones de tráfico y los requerimientos de acceso a lo largo de un proyecto justifican una consideración especial.

##### **4.9.1 Aplicaciones.**

Son muchas los usos potenciales del sistema de construcción rápida, describiéndose brevemente a continuación algunas de estas aplicaciones:

### **1) Calles urbanas y residenciales.**

En zonas residenciales el acceso de los residentes a sus cocheras es un problema crítico en el momento de poner en marcha un programa de reconstrucción de las vías, es por ello que el uso del concreto de alta resistencia usando el sistema de apertura rápida es una buena alternativa de solución, limitando a los residentes el acceso a sus cocheras durante 24 horas y en otras ocasiones menores tiempos (6 horas). Constituyéndose este tipo de alternativas una solución económica que debe de tomarse como una opción en zonas residenciales, siendo sus mayores ventajas el bajo mantenimiento y su alta capacidad estructural.

En cuanto a vías urbanas utilizando el método de apertura rápida se acelera la reconstrucción urbana o el recarpeteo, aligerando los problemas de tráfico resultante evitando así uno de los problemas más difíciles de diseño.

### **2) Caminos rurales y vecinales.**

Los caminos rurales y vecinales presentan la mejor oportunidad para el diseño y construcción de pavimentos de concreto, los pavimentos de concreto de apertura rápida en particular se pueden construir y abrir al tráfico en forma rápida.

### **3) Aeropuertos.**

Se puede utilizar concreto de alta resistencia para acelerar la construcción en la sustitución de áreas de estacionamiento cercanas a las salidas de las aerolíneas, reduciendo con esto los tiempos de ejecución permitiendo un retraso mínimo.

Facilitando además este tipo de tecnología otras aplicaciones como la reconstrucción de intersecciones de cruces urbanos y suburbanos, así como también en estacionamientos de zonas residenciales.

#### **4.9.2 Materiales.**

En el diseño de mezclas de concreto para el sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, no requiere de materiales ni técnicas especiales, siendo de mucha importancia o de mayor atención la selección de los materiales.

El tipo de cemento, los aditivos, ingredientes y agregados de carácter local se pueden adaptar para producir las resistencias altas y tempranas que se requieren; la resistencia temprana de cualquier mezcla se controla por medio de varios factores como:

- La relación agua-cemento.
- Contenido del cemento.
- Calidad del cemento.
- Reacción química de las partículas cementantes.
- También debe tomarse en cuenta:
  - El calor de hidratación.
  - La distribución granulométrica de los agregados.
  - El aire incluido.
  - Temperatura del agua.
  - La temperatura del ambiente.
- Las recomendaciones del curado, tanto para el valor deseado de la resistencia temprana como para la resistencia a largo plazo.
- **Cemento.**

Es muy importante tener presente la variabilidad inherente de los cementos portland, la selección del cemento que se utilizará en el concreto de apertura rápida se debe basar en los resultados de pruebas ya que no todos los cementos podrán presentar un aumento temprano de resistencias; las características de hidratación incluyendo la resistencia y la generación de calor de un cemento en particular dependen de la interacción de los componentes individuales que constituyen el cemento.

- **Aditivos.**

Son sustancias que se añaden al concreto con la finalidad de modificar algunas de sus propiedades ó para inducirle algunas características adicionales como lo son: resistencia, trabajabilidad, reducción de Agua en el mezclado, incorporación de aire, modificación de tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad, etc.

Cuando se agreguen aditivos al concreto se debe de tomar en cuenta algunos los siguientes criterios básicos:

- La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo deseado, sin alterar su proporcionamiento básico.
- Su empleo se debe justificar desde el punto de vista económico.
- Se debe investigar que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo.

**Aditivos inclusores de aire.**

El aditivo para concreto de uso más común es un agente inclusor de aire, la inclusión de aire en el concreto mejora la durabilidad al reducir los efectos negativos de la congelación y deshielo. El volumen de aire recomendado variará en función de las condiciones del medio ambiente y del tamaño máximo del agregado grueso que se use; en el caso del concreto empleado en el sistema de apertura rápida no debe usarse más de la cantidad recomendada ya que, puede reducir la resistencia temprana de la mezcla, teniendo presente que el aditivo cumpla con las normas, en este caso la establecida por la ASTM C-260 ó AASHTO –M154.

**Aditivos reductores de agua.**

Los aditivos reductores de agua dispersan las partículas del cemento y con ello reducen las aglomeraciones e induce una mayor hidratación del cemento.

Este tipo de aditivos disminuye la cantidad de agua necesaria para producir un cierto grado de trabajabilidad plástica del concreto; la reducción de agua podrá ser del 6 al 10% en la mayoría de los reductores de agua del tipo A.

En general los cementos y los reductores de agua son compatibles entre sí, sin embargo no todos los reductores de agua reaccionarán con cierto tipo de cemento para desarrollar las mismas propiedades de la mezcla.

#### **Aditivos acelerantes.**

Los aditivos acelerantes se usan para inducir prematuramente el fraguado y el desarrollo de la resistencia en una mezcla de concreto. Aunque no se ha usado con mucha frecuencia los aditivos acelerantes en proyectos de pavimentos de concreto construidos con el sistema de apertura rápida, su uso debe ampliarse con el tiempo recomendándose hacer ensayos completos de las propiedades del concreto tanto fresco como endurecido antes de especificar un diseño de mezcla en el que se emplee un aditivo acelerante.

- **Agregados.**

Históricamente el diseño de mezclas se ha basado en las proporciones de los ingredientes sin tomar en cuenta la granulometría combinada de los agregados, siendo de mucha importancia analizar a fondo la granulometría combinada y la forma de las partículas considerando que estos factores pueden tener un efecto importante en las propiedades plásticas y en las mezclas endurecidas.

Existe una relación definitiva entre la granulometría combinada del agregado y la resistencia desarrollada en el concreto; la trabajabilidad plástica y la durabilidad a largo plazo también pueden ser afectadas por la granulometría de los agregados.

Los materiales mal graduados pueden producir las resistencias a la compresión necesarias pero no son las más adecuadas para proporcionarles a los pavimentos de concreto la trabajabilidad necesaria.

Los materiales a base de agregados de tamaño intermedio pueden jugar un papel muy importante en una mezcla de concreto, sobre todo en mezclas de concreto de apertura rápida. La utilización de este agregado ayudará a optimizar la densidad del concreto, los agregados intermedios llenarán los huecos ocupados por una pasta de cemento menos densa, como puede observarse en la figura 4.9.2.1. el diagrama de distribución de partículas.

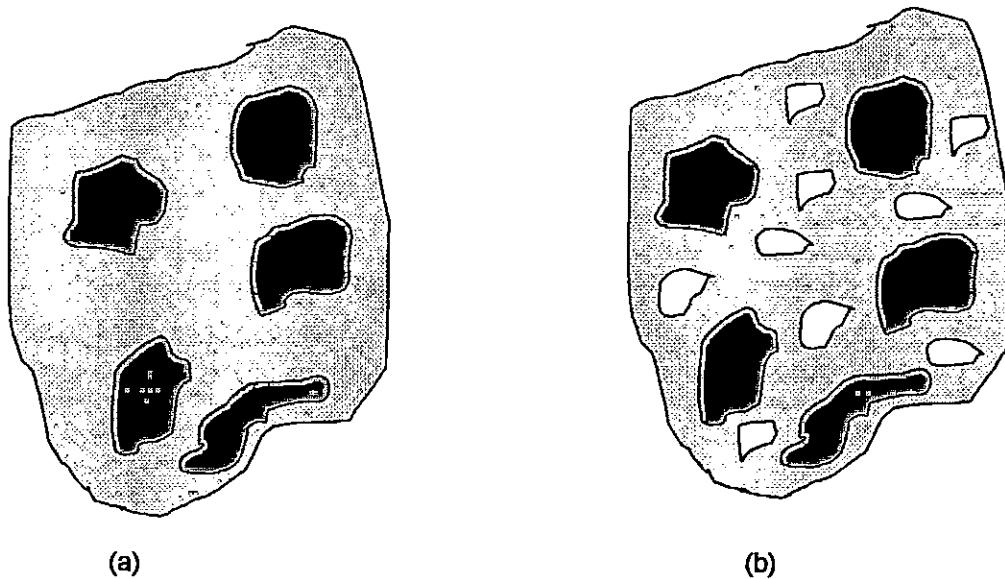


Figura 4.9.2.1 Diagrama de mezcla de granulometría escalonada (a) y mezcla con partículas intermedias (b).

El mayor peso volumétrico de concreto a través del uso de agregados intermedios presenta las siguientes ventajas:

- Una reducción en la demanda de agua de mezclado y por lo tanto una resistencia más alta a través de una disminución de la cantidad de mortero necesario para llenar vacíos.
- Mayor durabilidad al reducirse las trayectorias de penetración de agua dentro de la mezcla endurecida.
- Menor desgaste en las mezcladoras.

La forma de las partículas es importante porque afecta la resistencia y la respuesta del concreto a los vibradores, durante las operaciones de colocación y acabado del mismo.

Los agregados triturados en forma de cubos a los agregados gruesos naturales, tienden a inducir las mejores propiedades del concreto. En donde la forma de las partículas de agregados disponibles sea alargada, afilada y/o plana, el material intermedio de la misma geometría puede causar problemas de trabajabilidad y resistencia.

#### **4.9.3 Construcción.**

Los pavimentos de concreto de apertura rápida, son de hecho una adaptación del concreto de alta resistencia temprana que se usa para otras aplicaciones. El desarrollo de este tipo de pavimentos se basó en la utilización de equipo estándar y de fácil disponibilidad; aunque se necesita poner de atención especial en el desarrollo de la mezcla, llegándose a comprobar que no se requiere de equipo especial para la construcción del pavimento de concreto de apertura rápida

- **Verificación de mezclas en el campo.**

Con el sistema de construcción de pavimentos de concreto de apertura rápida, es necesario realizar un ensayo de la mezcla en el laboratorio, para poder determinar las propiedades del concreto desarrollado, así como también verificar la compatibilidad entre todos los ingredientes químicamente activos, para luego ser colocadas.

En la tabla 4.9.3.1, se presentan proporciones de materiales usados en sistemas de pavimentos de concreto de apertura rápida.

- **Mezclado y colocación.**

El concreto utilizado en pavimentos de apertura rápida, se elabora en las diferentes plantas de mezclado y en instalaciones de concreto premezclado, para luego ser transportadas en mezcladoras montadas en camión. Estos pavimentos de concreto pueden ser construidos con procedimientos tanto de cimbra deslizante como con cimbrado estándar.

Existen diferencias apreciables en el mezclado, coloración y acabado del concreto en su modalidad de apertura rápida en comparación con el concreto convencional; las mezclas del sistema pavimentos de concreto de apertura rápida, que tienen alto contenido de cemento y una alta proporción de agregados intermedios y finos necesitan una buena vibración para su consolidación y para facilitar el acabado.

Para la pavimentación con concreto, utilizando el sistema de apertura rápida, se necesita una secuencia bien planeada de construcción, debido a que el margen de error es mucho menor que con los pavimentos convencionales.

- **Acabado.**

Los procedimientos normales de acabado pueden ser utilizados para los pavimentos de concreto de apertura rápida, como puede observarse en la siguiente fig.4.9.3.1

**Figura 4.9.3.1**



**Tabla 4.9.2.1**

DISEÑOS DE MEZCLAS COLOCADAS EN EL CAMPO									
Diseño de mezcla	Tipo de cemento	Cantidad de cemento (lb/yd <sup>3</sup> )	Relación A/C de proyecto.	Ceniza volante (lb/yd <sup>3</sup> )	Agregado grueso (lb/yd <sup>3</sup> )	Agregado fino (lb/yd <sup>3</sup> )	Aditivos		
							AE*	WR**	AC***
A	I	641	73	n.a.	1420	1420	Si	Si	NO
B	II	658	0	0.39	1698	1145	Si	Si	NO
C	II	658	89	0.39	1575	1062	Si	Si	SI
D	III	710	0	0.373	1528	1358	Si	Si	NO
E	III	640	70	0.425	1413	1413	Si	Si	NO
F	III	640	70	0.425	1413	1413	Si	Si	NO
G	III	841	73	0.425	1414	1409	Si	Si	NO
H	III	743	82	0.40	1308	1313	Si	Si	NO

\*AE= AGENTE INCLUSOR DE AGUA.

\*\*WR= REDUCTOR DE AGUA

\*\*\* AC= ACELERANTE QUE NO SEA CLORURO

n.a. = NO DISPONIBLE

FUENTE: A.C.P.A.

Se recomienda para éste sistema en vías primarias con alto volumen de tráfico una textura ranurada transversal. En vías con menor volumen de tráfico y en pavimentos de usos múltiples como estacionamientos, plataformas de carga, etc. Será suficiente en general el escobillado o el arrastre de sacos de yute.

- **Aserrado y sellado de juntas**

Los procedimientos tradicionales de aserrado y sellado de las juntas no son aplicables a la construcción de pavimentos de concreto, utilizando el sistema de apertura rápida, se necesita dejar pasar cierto tiempo antes de aplicar alguno de los selladores para juntas disponibles ya que es muy importante que las paredes laterales de las juntas estén secas para garantizar el funcionamiento adecuado del material sellador de juntas.

**Ranurado con disco**

Para el ranurado de juntas en los pavimentos de concreto de apertura rápida, no existe ninguna limitación en el uso de equipo; se pueden emplear discos a base de diamante.

Para el ranurado en húmedo así como discos de carburo de silicio o de carborundo para el ranurado en seco, la selección del tipo de disco dependerá sobre todo de la dureza de los agregados del concreto.

### **Sellado.**

Antes de proceder al sellado, las caras de las juntas se deben de limpiar. A continuación se presentan algunos de los procedimientos recomendados.

<b>Ranurado en Húmedo</b>	<b>Ranurado en Seco</b>
1. Lavado con agua a presión.	1. Lavado con aire a presión.
2. Periodo de espera.	2. Periodo de espera.
3. Limpieza con arena a presión.	3. Limpieza con arena a presión.
4. Inyección de aire.	4. Inyección de aire.
5. Colocación de tira de respaldo	5. Colocación de tira de respaldo
6. Aplicar sellador	6. Aplicar sellador

En los pavimentos de concreto de apertura rápida las juntas se deben de sellar tan pronto como sea posible y a más tardar un día después del colado del pavimento, existen diferentes selladores que se adaptan a este tipo de sistema como lo son los selladores ahulados, los selladores a base de silicon, selladores de compresión de neopreno preformado, Así como también proporcionan buen resultado los selladores vertidos en caliente.

- **Curado.**

Para el sistema de apertura rápida, se necesita una protección muy cuidadosa durante el curado, siendo esto muy importante para poder retener la humedad y el calor que son necesarios para desarrollar altas resistencias tempranas.

### **Retención de la humedad.**

El compuesto de curado debe retener la suficiente humedad para inducir el desarrollo de la resistencia temprana. Este compuesto debe ser aplicado 1.5 veces más rápidamente que para un uso convencional, el aditivo se debe extender sobre la superficie y sobre los bordes de las losas de concreto.

#### **Retención del calor.**

Para garantizar la retención del calor generalmente se necesita un cierto tipo de aislamiento térmico, esto depende de las condiciones climáticas de la región. En la mayoría de las operaciones normales de pavimentación el aislamiento se puede lograr mediante la colocación de membranas de curado. Estas pantallas se colocan después de la aplicación del compuesto de curado, en algunos casos se puede hacer después de ranuras las juntas.

Estas membranas están formadas por una capa de espuma de poliestireno de alta densidad protegidas en uno de sus lados por una película plástica, reduciendo así la pérdida de temperatura y amortiguando tanto el efecto de la temperatura ambiente del aire como del calor solar sobre las losas de concreto.

# **CAPITULO V**

**PROYECTO DE REHABILITACION  
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES,  
UTILIZANDO SOBRECAPAS DE  
CONCRETO HIDRAULICO  
SIMPLE.**

## **5.0 PROYECTOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES UTILIZANDO SOBRECAPAS DE CONCRETO HIDRAULICO SIMPLE.**

### **5.1 PROYECTO "REHABILITACION DE CALLE Y AVENIDA L-3, DE CIUDAD MERLIOT".**

#### **5.1.1 Levantamiento físico de las condiciones actuales del pavimento y trafico.**

En éste apartado se presenta el levantamiento físico de las condiciones actuales que presenta la calle y avenida L-3, ubicada en la colonia Jardines de Cuscatlán, Ciudad Merliot (Santa Tecla).

El propósito de éste estudio es determinar si éstas vías merecen que se les realice posteriormente, una rehabilitación (utilizando Sobrecapas Ultradelgadas de concreto Hidráulico).

En éste estudio se realizó las siguientes investigaciones:

- Evaluación visual del nivel de daño en la superficie de rodamiento (clasificación de las fallas existentes).
- Características geométricas
- Estudio representativo del tráfico de la zona.

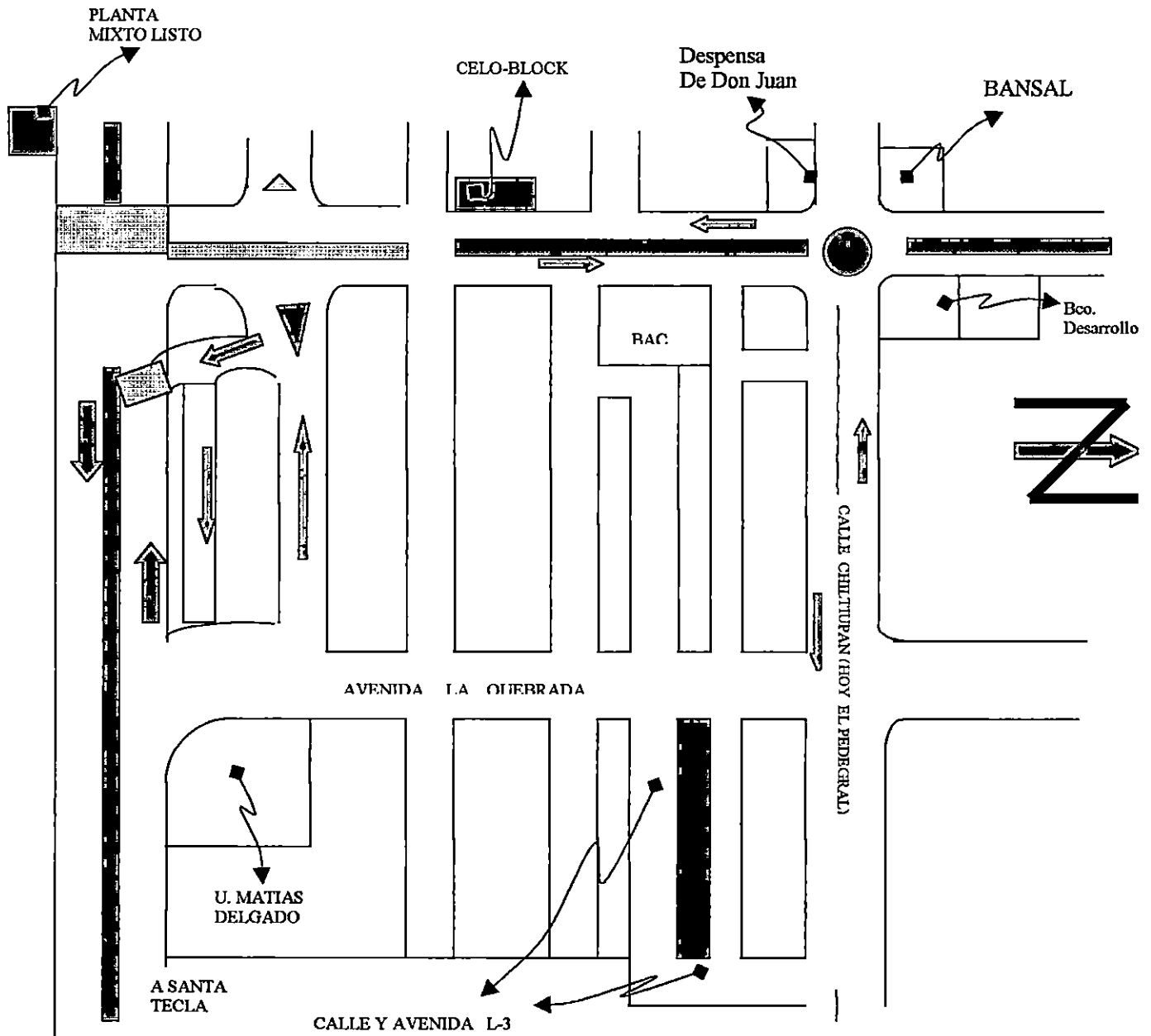
La selección del tramo (Calle y Avenida L-3 ) de las vías urbanas del Area Metropolitana de San Salvador (AMSS) se realizó en base a los siguientes aspectos:

- Incremento en el volumen de tráfico en dicha vía.
- Daños considerables en la capa de rodamiento.
- Por su ubicación dentro del Sistema Vial de la zona, no se interrumpe la fluidez vehicular (sí se realiza la evaluación y rehabilitación).

El estudio se realiza en la calle y Avenida L-3 que comunica hacia el Poniente con la Avenida La Quebrada y hacia el Norte con la Calle Chiltiupan (hoy tramo conocido como Calle El

Pedregal) a 400 metros hacia el oriente partiendo del Redondel del Boulevard Merliot. ( Ver figura 5.1.1.1 que presenta el plano de ubicación).

**FIG. 5.1.1.1 PLANO DE UBICACION**

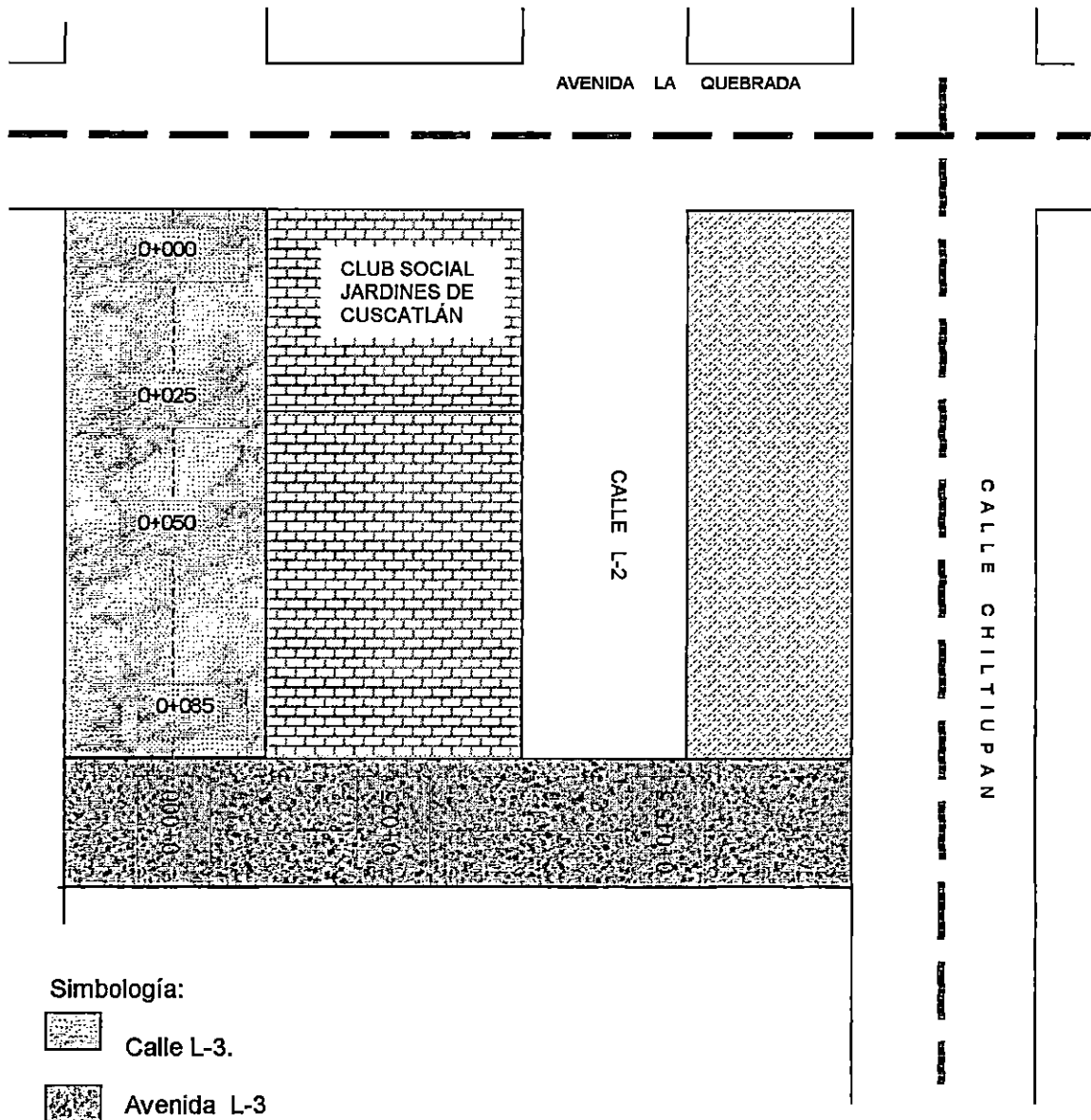


LEVANTAMIENTO FISICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL PAVIMENTO.

Específicamente la Calle y Avenida L-3, tiene una longitud total de 138.35 metros.

La evaluación del nivel de daños se realizó en los estacionamientos indicados previamente (ver en figura 5.1.1.2).

FIGURA 5.1.1.2



**Evaluación visual del nivel de daño en la superficie de rodamiento (clasificación de las fallas existentes)**

**CALLE L- 3**

**ESTACIONAMIENTO 0+000**

En este se observa dos tipos de falla:

1. Piel de cocodrilo que podría ser causado por (ver figura 5.1.1.3 y 5.1.1.4):
  - Carencia de asfalto en la mezcla.
  - Endurecimiento del asfalto por oxidación en las carpetas asfálticas.
  - Deformaciones plásticas en las capas inferiores.
  - Movimiento en el terraplén o una fundación poco resistente.
  - Exceso de agua.
  - Calidad inapropiada del asfalto.
2. Desintegración, manifestada por pérdida de agregados en la carpeta que podría ser causado por:
  - Degradación de los agregados.
  - Cambios de temperatura.
  - Endurecimiento del asfalto.
  - Exceso de asfalto o agua.



Figura 5.1.1.3

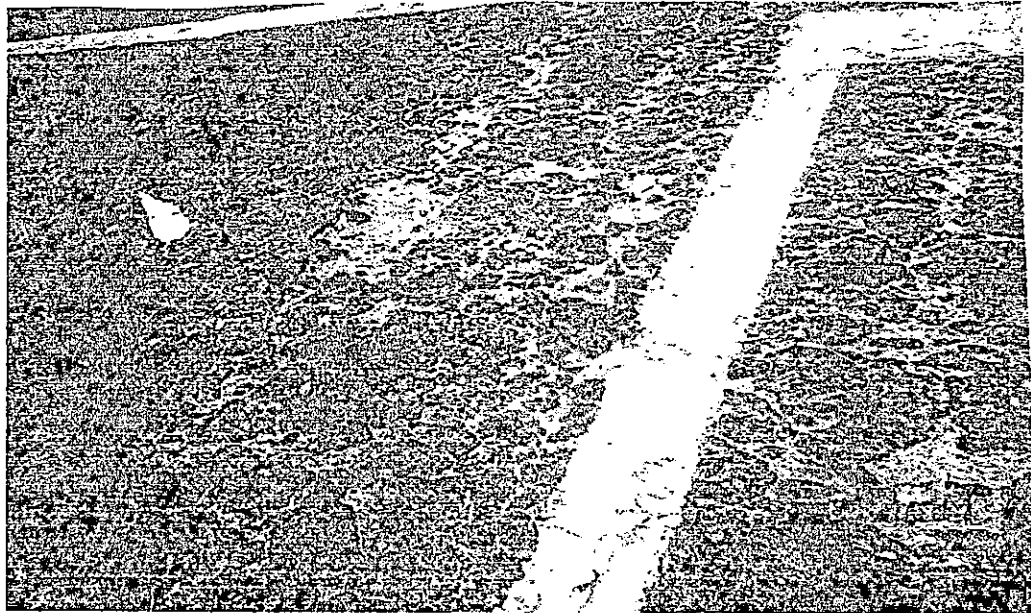


Figura 5.1.1.4

ESTACIONAMIENTO 0+025

En este se observa mantenimiento reciente, especialmente en la parte central del ancho de rodaje. El mantenimiento observado es bacheo, presentando buena apariencia con ligero abultamiento, como puede observarse en la figura 5.1.1.5.

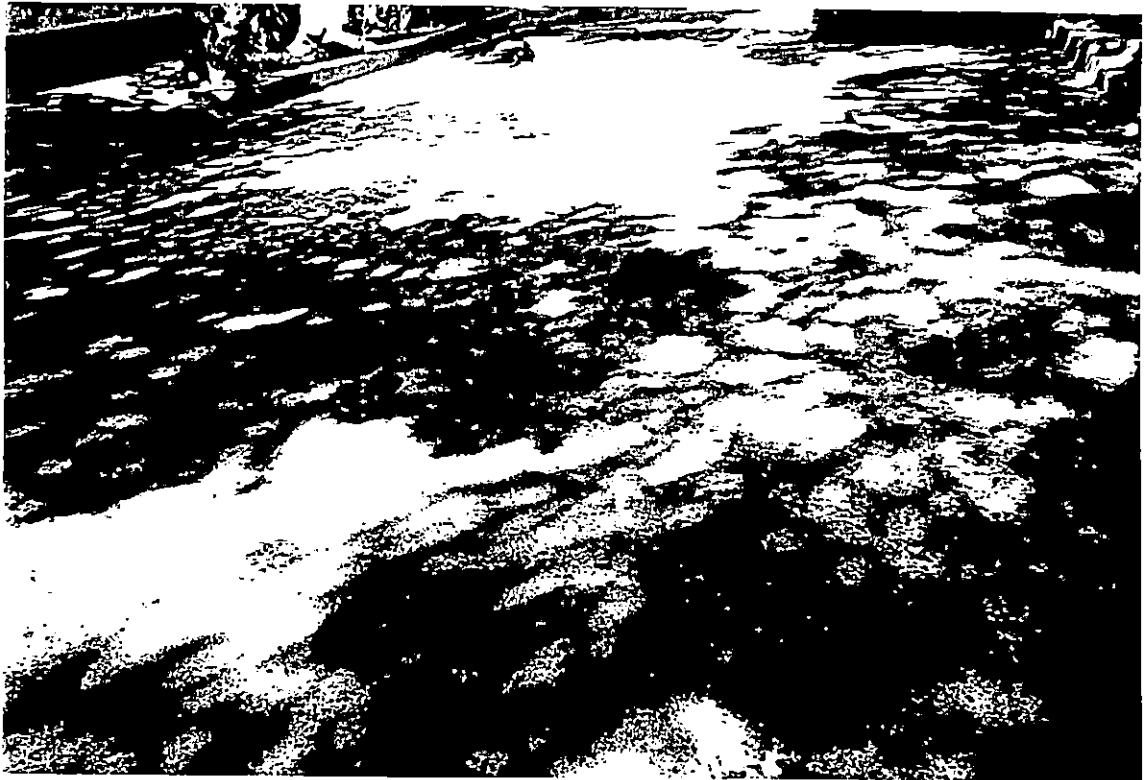


Figura 5.1.1.5

ESTACIONAMIENTO 0+050

En la parte central del ancho de rodaje predomina dos tipos de falla:

Agrietamiento, manifestado por piel de cocodrilo y desintegración manifestada por pérdida de agregados en la carpeta. Las causas que originan dichas fallas podrían ser similares a las del estacionamiento 0+000. Obsérvese la figura 5.1.1.6.

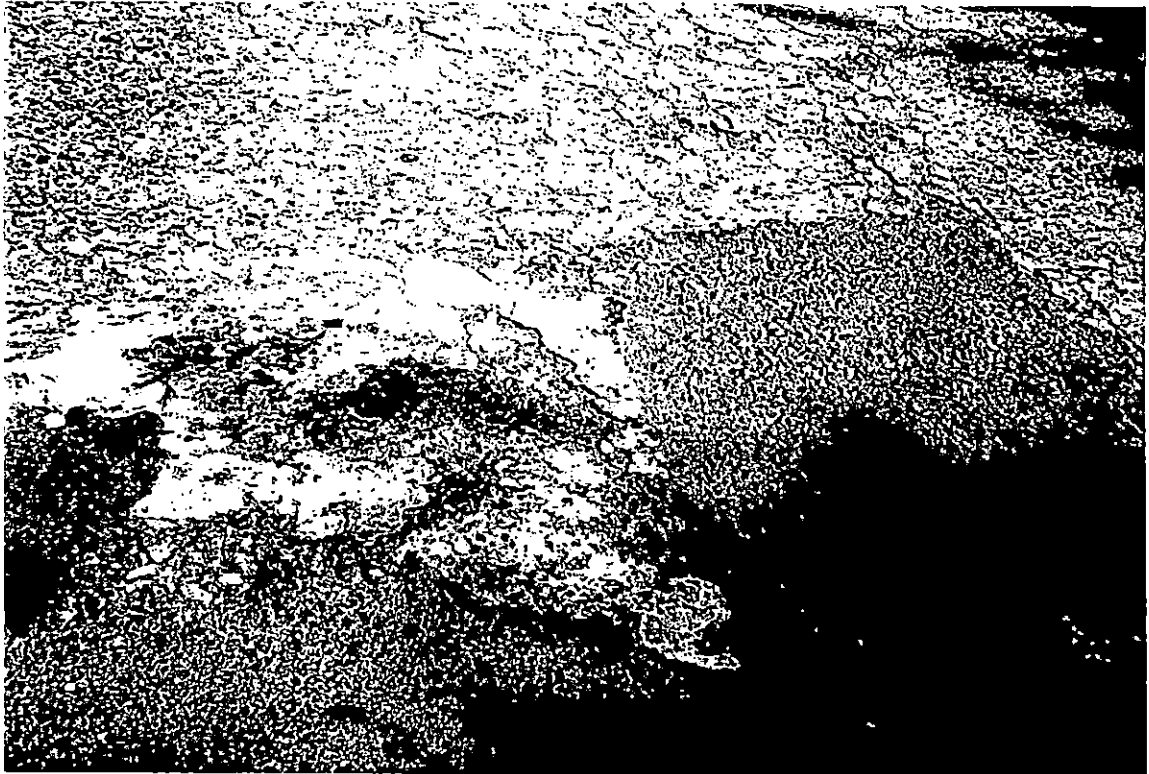


Figura 5.1.1.6

### ESTACIONAMIENTO 0+070

En este sector, se observa tres tipos de falla, el primero considerado como deformación, manifestándose con hundimientos mínimos del pavimento especialmente en el centro y en el borde del ancho de rodaje, las causas de este tipo de falla podrían ser: exceso de asfalto, utilización de agregados lisos y redondeados, espesor insuficiente, exceso de carga, deformación plástica en las capas inferiores, niveles imprevistos de la capa freática, inundaciones o filtraciones en el pavimento y/o subrasante.

El segundo tipo de falla trata de un agrietamiento manifestado por piel de cocodrilo y el tercero de una desintegración especialmente al borde del ancho de rodaje y es manifestada por pérdidas de agregados en la carpeta (ver figuras 5.1.1.7, 5.1.1.8, 5.1.1.9).



Figura 5.1.1.7

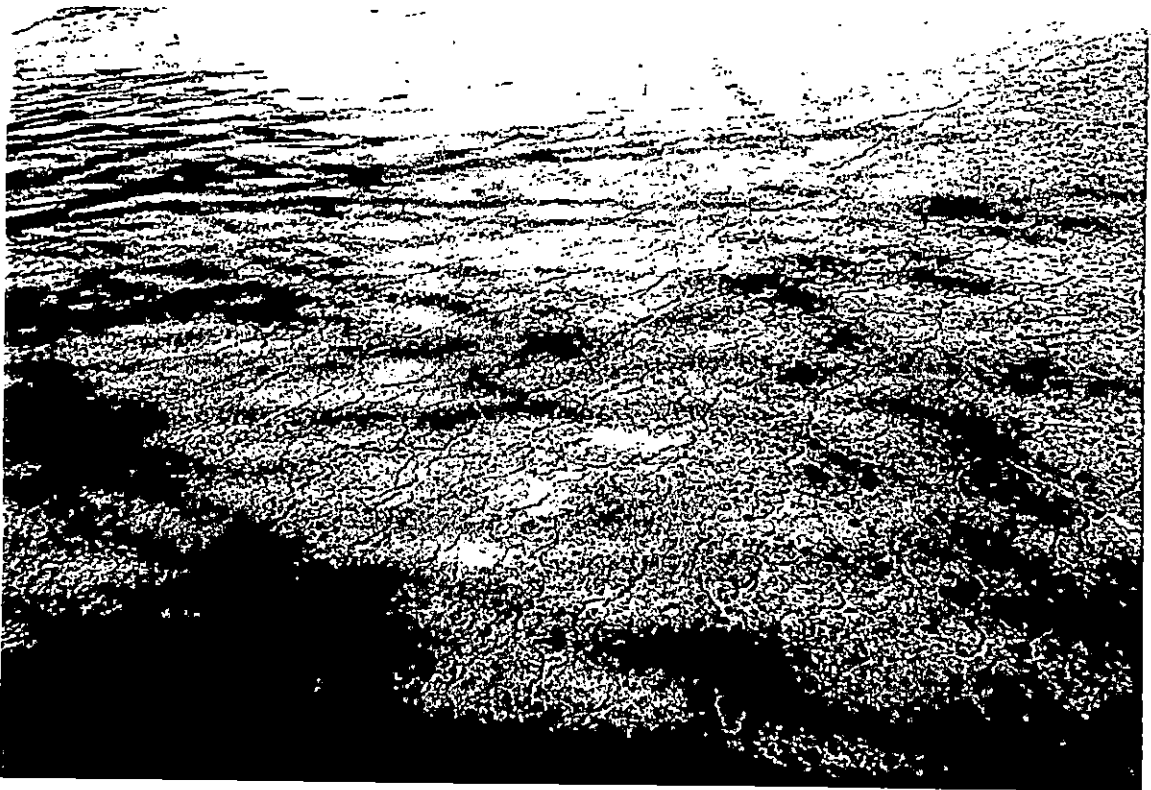


Figura 5.1.1.8 y Figura 5.1.1.9



ESTACIONAMIENTO 0+085

Se presenta un tipo de falla el cual es un agrietamiento manifestado por grietas transversales y longitudinales de aproximadamente 50 centímetros de longitud. También se observa piel de cocodrilo. (ver figura 5.1.1.10).

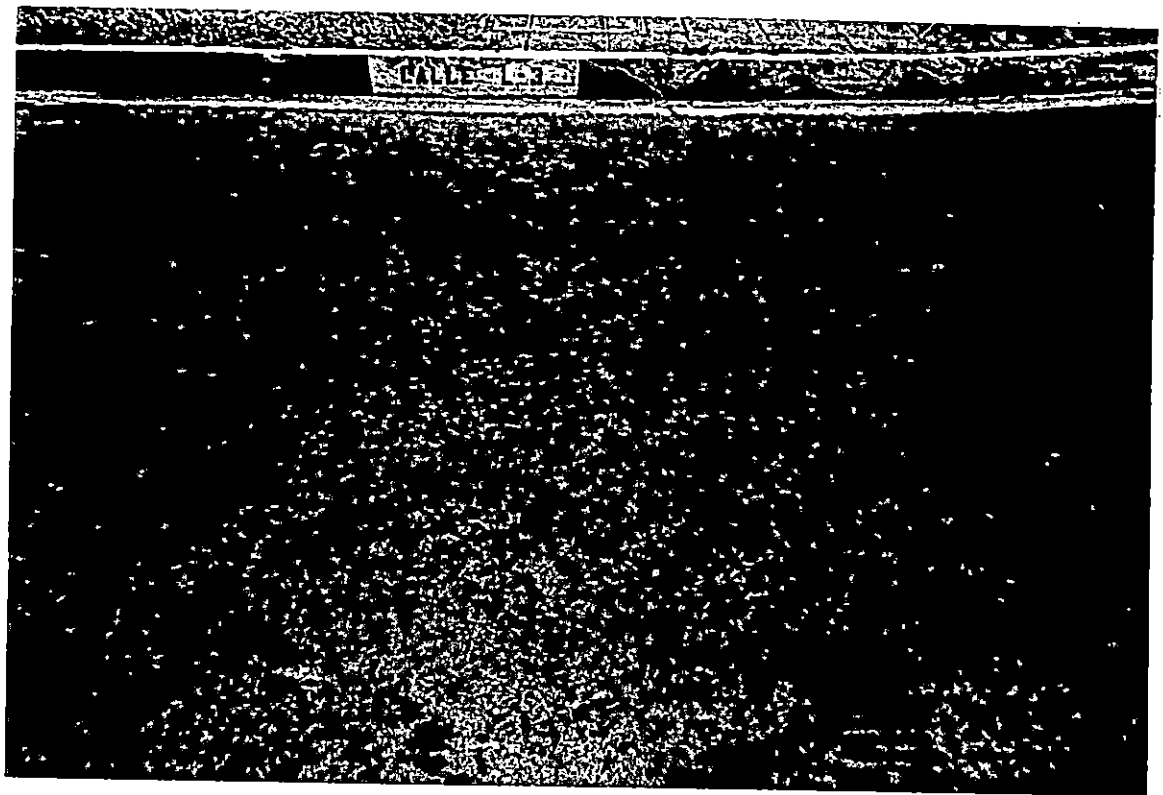


Figura 5.1.1.10

AVENIDA L-3

ESTACIONAMIENTOS 0+000, 0+025 y 0+045.5

Presenta bacheo utilizando en algunos casos concreto hidráulico, se observa además agrietamientos manifestados por grietas longitudinales, piel de cocodrilo, presenta indicios de desintegración y deformaciones manifestadas por hundimientos especialmente al borde del ancho de rodaje. (ver figuras 5.1.1.11; 5.1.1.12 y 5.1.1.13)

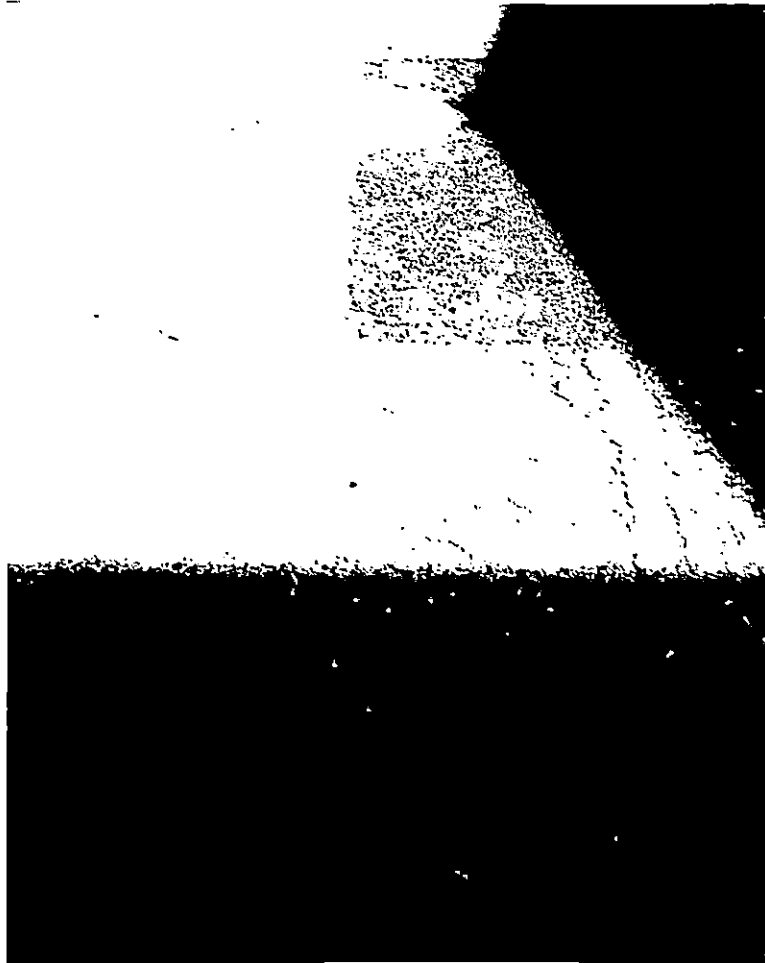


Figura 5.1.1.11

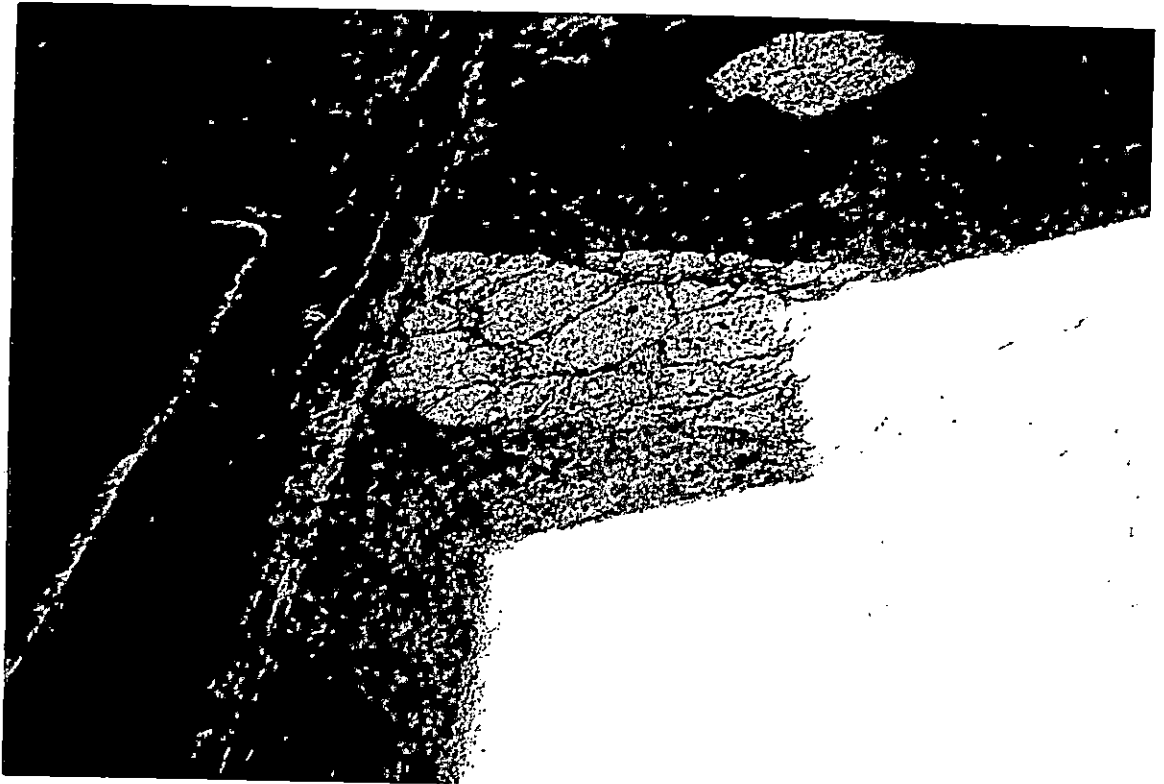


Figura 5.1.1.12



Figura 5.1.1.13

OBSERVACIONES.

Es importante mencionar que la vía analizada se encuentra señalizada especialmente en sus intersecciones, presentando además un aparente buen drenaje, contando con un pozo de aguas negras y uno de aguas lluvias ubicadas al centro del tramo de la Calle L-3.

Dicha calle es utilizada como parqueo, y para estacionar y reparar algunos automotores.

(ver figuras 5.1.1.14, 5.1.1.15 y 5.1.1.16).



Figura 5.1.1.14



Figura 5.1.1.15

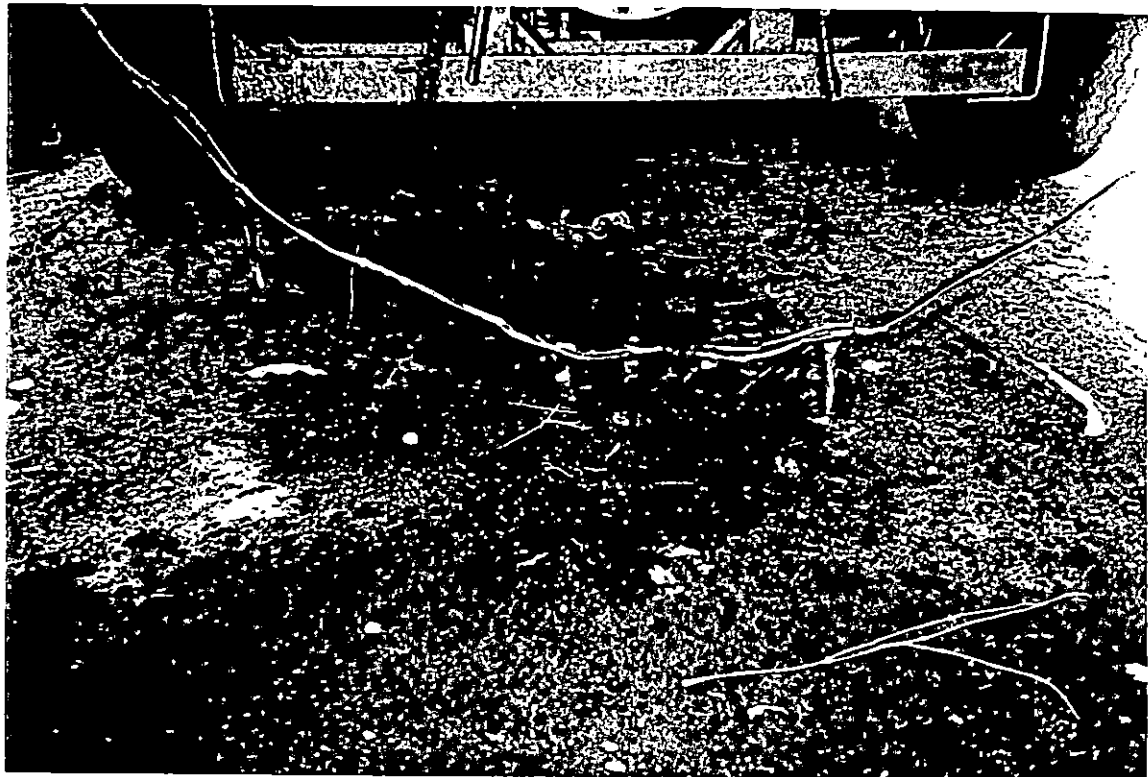
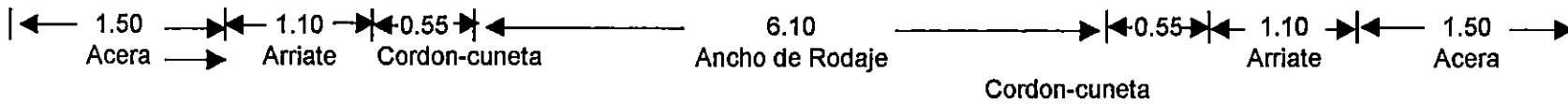
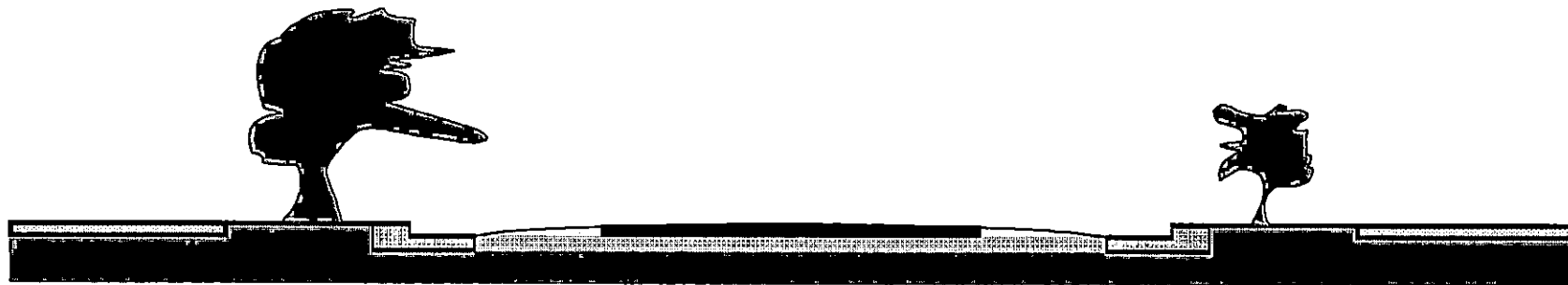


Figura 5.1.1.16

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

SECCION TIPICA DE CALLE Y AVENIDA L-3



### **Levantamiento físico de las condiciones actuales del tráfico**

#### **Estudio representativo del tráfico en la zona (aforo de tráfico)**

El tráfico que circula en la vía estudiada (Calle y Avenida L-3) se ha llegado a convertir últimamente en un tráfico desviado o inducido, ya que parte del volumen de tráfico que circulaba antes por otras calles (especialmente la Calle Chiltiupan cambia su itinerario por pasar por dicha vía; este fenómeno se da a cualquier momento del día especialmente en las horas punta donde el tráfico aumenta en el carril que de Ciudad Merliot conduce a San Salvador en la Calle Chiltiupan (ver figura 5.1.1.17).



Figura 5.1.1.17 .

Por está razón los automovilistas se desvían por la Avenida la Quebrada para luego tomar la Calle y Avenida L-3 e incorporarse nuevamente a la Calle Chiltiupan.

Como se puede observar la situación antes descrita tiende a aumentar debido a que Ciudad Merliot y San Salvador representan dos polos de desarrollo entre los cuales se movilizan grandes volúmenes de tráfico; por tal razón se consideró de vital importancia realizar un estudio representativo del tráfico en la zona especialmente en la Calle y Avenida L-3.

Las investigaciones que se realizaron fueron las siguientes:

- Tráfico diario.
- Demanda de tráfico vehicular.
- Tráfico máximo horario.
- Densidad de tráfico.
- Clasificación vehicular.

**Tráfico diario**

**TABLA No. 5.1.1.1**

HORAS	NUMERO DE VEHICULOS			
	LIVIANOS	PICK-UP	PESADOS	TOTAL
7:30 A 8:30	163	24	2	189
8:30 A 9:30	36	13	5	54
9:30 A 10:30	30	14	1	45
10:30 A 11:30	35	21	5	61
11:30 A 12:30	63	34	5	102
12:30 A 1:30	58	18	4	80
1:30 A 2:30	37	15	0	52
2:30 A 3:30	42	9	4	55
3:30 A 4:30	43	10	2	55
4:30 A 5:30	55	22	6	83
5:30 A 6:30	50	16	1	67

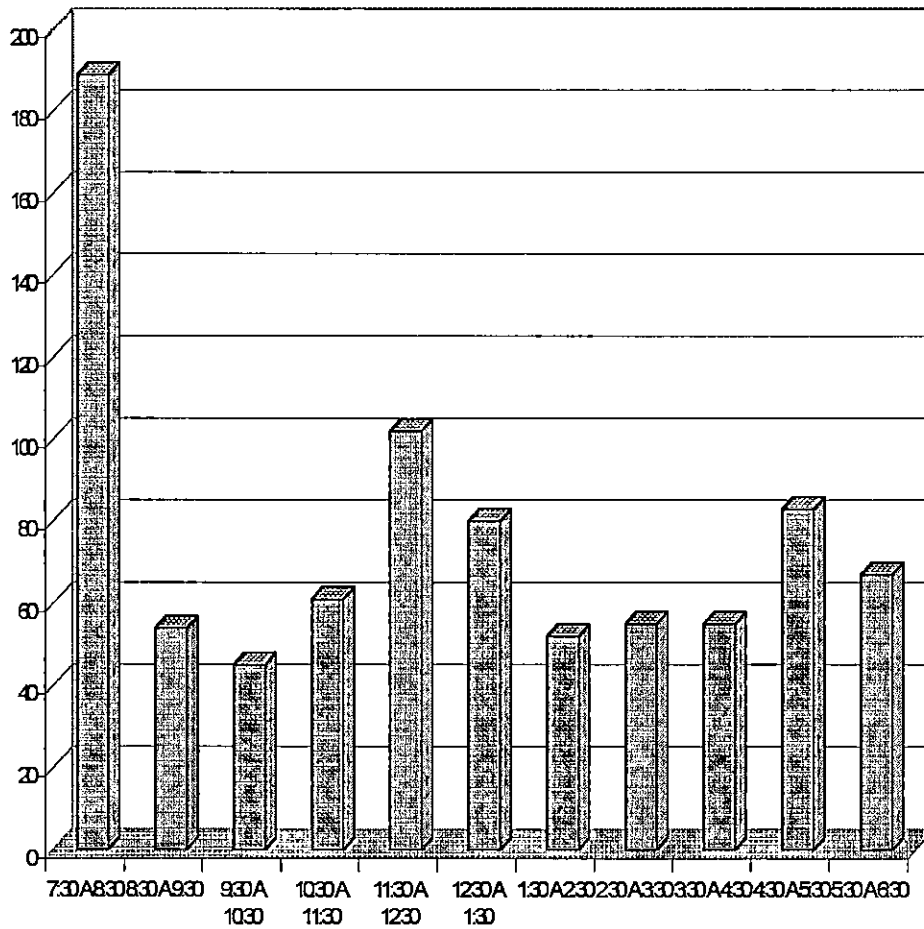
El tráfico diario TD es: 843 vehículos/día.

- **Demanda del tráfico vehicular**

La demanda del tráfico vehicular en dicha calle es variable, incrementándose en las primeras horas de la mañana, al mediodía y en las últimas horas de la tarde.

Dicha demanda puede observarse en los gráficos No. 5.1.1.1

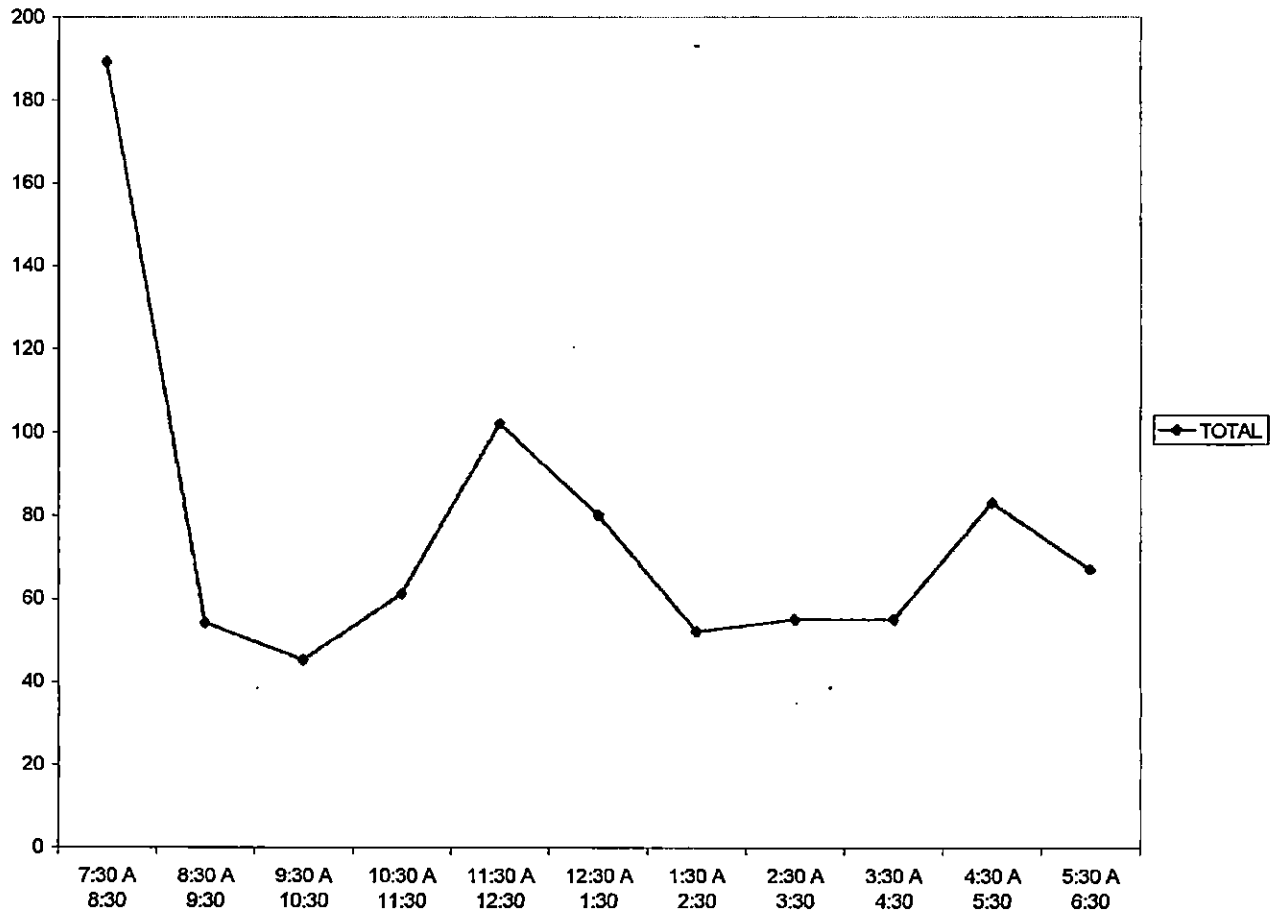
**GRAFICO No. 5.1.1.1 DEMANDA DE TRAFICO EN CALLE Y AVENIDA L-3**



- **Tráfico horario máximo (THM)**

El tráfico máximo horario obtenido se da en las primeras horas de la mañana (7:30 a 8:30 AM) y es de 189 vehículos/hora como puede observarse en el gráfico No. 5.1.1.2

GRAFICO No. 5.1.1.2



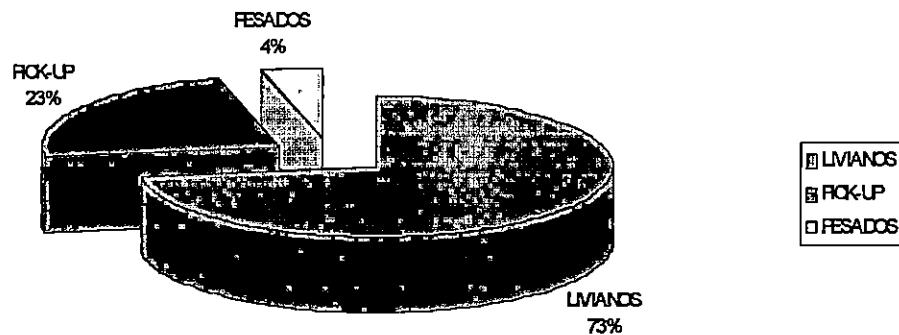
- **Densidad de tráfico.**

La densidad de tráfico es el número de vehículos que se encuentran en cierta longitud de camino en un instante dado.

Para nuestra investigación la Densidad de Tráfico fue de: 3 vehículos.

La clasificación realizada fue en base a vehículos: Livianos, Semipesados (Pick-up) y Pesados (camiones, rastras y autobuses), los datos obtenidos se pueden observar en la tabla No. 5.1.1.1 y su composición vehicular en el gráfico No. 5.1.1.3

GRAFICO No. 5.1.1.3 COMPOSICION VEHICULAR



### **5.1.2 Diseño del espesor de la sobrecapa de concreto hidráulico.**

A continuación se presenta el cálculo de los parámetros necesarios para el diseño de la Sobrecapa.

#### **5.1.2.1 Cargas por tráfico (ESAL's)**

- Estimación de tráfico en Calle y Avenida L-3, Jardines de Cuscatlán, Ciudad Merliot.

Debido al comportamiento vehicular que presenta la calle y avenida L-3, el análisis de tráfico se realizará de la siguiente manera:

- Considerando el tráfico desviado (externo) que se produce en dichas vías.
- Analizando el tráfico interno, producto del número de vehículos por vivienda, tráfico de servicios y eventuales.

La razón de considerar independientemente los análisis anteriores, radica en que el tráfico desviado se incrementa con el tiempo y el tráfico interno se mantiene constante.

- **Tráfico externo o desviado.**

Para poder observar el comportamiento de dicho tráfico, se realizó un aforo o conteo de vehículos el martes 31 de Marzo de 1998, el conteo fue de 10 horas (7. A.m. a 5 p.m.) en ambos sentidos de la vía, observándose un incremento vehicular en horas pico. Éste aforo es el que se presentó en la tabla 5.1.1.1

El tráfico diario encontrado es necesario ajustarlo a un conteo de 24 horas para ello se aplicarán factores de calibración llegando a obtener como objetivo final el TPDA que se utilizará en el cálculo del ESAL's de diseño.

- **Desarrollo.**

El ajuste del volumen de tráfico se realiza de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{TEXT}_{(1998)} = \frac{\text{T.D.}}{\text{F.H.}} \times \text{Fds} \times \text{FM}$$

Donde:

TD = Tráfico diario (obtenido en el aforo)

F.H. = Factor horario

Fds = Factor diario semanal

FM = factor mensual.

Para el cálculo de estos factores se ha tomado como base los datos de la sección de tránsito (DGC, de la estación maestra IIEOI Las Delicias, Santa Tecla) que se presentan en los cuadros 5.1.2.1.1 y 5.1.2.1.2

- **Cálculo de factor horario ( F.H. )**

Para calcular dicho factor se observa en el cuadro 5.1.2.1.1 el rango de tiempo en que se realizó el conteo, luego se suman los diferentes porcentajes correspondientes a cada hora obteniendo de ésta forma el siguiente dato:

$$69.53\% \quad \therefore \quad \text{F.H} = 0.6953$$

- **Cálculo de factor mensual. ( FM )**

Para la determinación de éste factor, se divide el tráfico promedio diario anual entre el tráfico promedio diario mensual (TPDA/ TPDM) para cada mes del año, luego se realiza el promedio de los factores mensuales y se toma como válido dicho valor por ser representativo.

Por tanto de cuadro No. 5.1.2.1.2 (registro para 1991) se obtiene:

$$\text{Fm} = 1.01262$$

- **Factor diario semanal. ( Fds )**

El factor diario semanal se calcula dividiendo el tráfico promedio diario semanal correspondiente al mes que se realizó el conteo, entre el tráfico diario o sea el correspondiente al promedio que representa el día del aforo o conteo (martes).

Del cuadro No. 5.1.2.1.2 (registro para 1991) se obtiene:

$$T_d (\text{martes}) = 13,777$$

$$TPDS (\text{marzo}) = 14,842$$

Por tanto:

$$Fds = \frac{TPDS}{TD} = \frac{14,842}{13,777}$$

$$TD = 13,777$$

$$Fds = 1.077$$

Entonces, el ajuste en el volumen de tráfico será:

$$T(\text{ext.})_{(1998)} = 843 \times 1.01262 \times 1.077 \\ 0.6953.$$

$$Tpda (\text{ext.}) = 1322.26 \approx 1322 \text{ vehic/ día.}$$

CUADRO No. 1  
**HISTORIA DE LA VARIACION HORARIA DEL T.P.D.A.  
 Y CALCULO FACTOR DE EXPANSION DE 12 A 24 HORAS  
 ESTACION 11E01 LAS DELICIAS**

HORAS			PORCENTAJES DE REGISTROS 1991		PORCENTAJES DE REGISTROS 1992	
0	A	1	0.29		0.22	
1	A	2	0.27		0.13	
2	A	3	0.41		0.16	
3	A	4	0.31		0.25	
4	A	5	0.63		0.70	
5	A	6	1.48	FACTOR EN PERIODO DE CONTEOS	2.09	FACTOR EN PERIODO DE CONTEOS
6	A	7	4.77		4.71	
7	A	8	8.37	8.37	6.70	6.70
8	A	9	7.03	7.03	6.89	6.89
9	A	10	7.11	7.11	7.40	7.40
10	A	11	7.52	7.52	7.23	7.23
11	A	12	7.08	7.08	6.86	6.86
12	A	13	6.95	6.95	6.39	6.39
13	A	14	5.82	5.82	6.24	6.24
14	A	15	6.96	6.96	6.68	6.68
15	A	16	7.11	7.11	6.86	6.86
16	A	17	7.58	7.58	7.44	7.44
17	A	18	7.57	7.57	7.91	7.91
18	A	19	6.84	6.84	6.63	6.63
19	A	20	3.93		3.94	
20	A	21	2.25		2.17	
21	A	22	0.58		1.25	
22	A	23	0.75		0.76	
23	A	24	0.48		0.39	
<b>TOTAL</b>			<b>100.00</b>	<b>83.84</b>	<b>100.00</b>	<b>83.23</b>

<b>FACTOR DE EXPANSION A UTILIZAR</b>	<b>83.59</b>
---------------------------------------	--------------

FUENTE DE INFORMACION: SECCION DE ESTUDIOS DE TRANSITO (D.G.C.)

**CUADRO No. 5.1.2.1.**  
**HISTORIA DE LA VARIACION MENSUAL DEL T.P.D.A. Y CALCULO FACTOR DE EXPANSION PROMEDIO MENSUAL**  
**ESTACION 11E01 LAS DELICIAS**

REGISTROS DEL AÑO 1991									FM=
MESES	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	T.P.D.M.	T.P.D.A./T.P.D.M.
ENERO	10839	14801	17435	18109	19053	21842	15980	16866	0.908537
FEBRERO	17583	13902	16730	17191	19464	19906	17053	17404	0.880422
MARZO	13096	13777	14202	14710	18579	16504	13028	14842	1.032387
ABRIL	14336	14710	14962	14738	15748	14568	12775	14548	1.053261
MAYO	14499	14990	14623	14933	15838	14644	12842	14624	1.047787
JUNIO	14693	16376	15454	15683	15014	15237	14239	15242	1.005295
JULIO	15720	19785	17743	20104	19119	17268	13898	17662	0.867547
AGOSTO	14990	15285	15341	15364	16101	15100	13241	15060	1.017443
SEPTIEMBRE	16049	15266	16724	17421	18218	14889	14148	16102	0.951612
OCTUBRE	13395	12338	13162	12653	15773	15293	11763	13468	1.137721
NOVIEMBRE	11298	12731	13695	11189	11537	11432	9645	11647	1.315649
DICIEMBRE	14302	17599	16721	17982	18862	18015	11386	16410	0.933784
TOTAL	170800	181460	186792	190077	203306	194698	159998	183876	12.151444
MESES	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T.P.D.A.	14233	15122	15566	15840	16942	16225	13333	15323	1.012620

FUENTE DE INFORMACION: SECCION DE ESTUDIOS DE TRANSITO (D.G.C.)

- **Tráfico interno.**

El tráfico pesado se determinará de acuerdo al método de estimación presentado en la Revista CEMENTO HORMIGON (junio 1985), en el artículo escrito por Alejandro Josa Garcia-Tornel (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).

El cálculo del tráfico interno se realizará para el año de diseño (25 años) debido a que su crecimiento se considera cero con el tiempo, para ello se tomarán en cuenta los siguientes tráfico:

- Tráfico ligero, generado por las entradas y salidas de los propietarios de los vehículos a sus viviendas.
- Tráfico de servicios, generado por servicios de limpieza (recolección de basuras) y suministros.
- Tráfico eventual, generado por mudanzas.

El número de viviendas al cual le da servicio la calle y avenida L-3 es igual a 24, incluyéndose en ésta cantidad dos colegios.

Es importante mencionar que dicha calle también da servicio a un club social ubicado en el sector.

- **Tráfico ligero.**

Hipótesis:

Se considera un mínimo de 6 personas por vivienda, con la finalidad de obtener una población total y relacionarla con la tasa de motorización contemplada en el Plan Maestro del Transporte Urbano para el AMSS, y de ésta forma obtener el número total de vehículos livianos en la vía analizada.

La tasa de motorización correspondiente a la ciudad de Santa Tecla es de 185 vehículos por cada mil habitantes (proyección para 1998).

1000 habitantes ----- 185 vehic.

144 habitantes ----- X

N. de vehic. =  $26,64 \approx 27$  vehic

Se considera 4 viajes diarios promedio por vivienda distribuidas así:

2 salidas y 2 entradas.

Por tanto:

El número de vehículos que circularán es: 108

Anualmente se obtiene  $\rightarrow 108 \times 365 = 39,420$

Durante la vida útil  $\rightarrow 39,420 \times 25 = 985,500$

**Tráfico de servicios.**

**Recolección de basura.** : Considerando el aseo, dos veces por semana y utilizando camiones tipo  $C_3$  tenemos:

No. de camiones = 2 camiones x No. de semanas al año x vida útil de pavimento.

No. de camiones =  $2 \times 52 \times 25 = 2,600$  camiones tipo  $C_3$

Es importante mencionar que existe aproximadamente la misma cantidad de camiones referente al suministro de agua purificada, siendo éstos del tipo  $C_2 = 2,600$

**Tráfico eventual.**

1. Tráfico de mudanzas.

Se considera que se realizará un transporte de éste tipo cada 10 años y que se utilizarán para realizar ésta actividad 2 camiones del tipo  $C_2$

No. de camiones = 2 camiones x No. de viviendas x Vida útil del pavimento

10 años

No. de camiones =  $\frac{2 \times 24 \times 25}{10} = 120$  camiones. Tipo  $C_2$

2. tráfico generado por eventos en club social

Hipótesis:

Se considera que dicho club realiza actividades una vez por semana, por lo que genera un incremento apreciable en tráfico vehicular de la zona, por lo que se considera que la Calle y Avenida L-3 recibe una cantidad aproximada de 25 vehículos livianos por cada evento, los cuales se realizan una vez por semana.

→ Anualmente se obtiene:

$$25 \frac{\text{Vehículos}}{\text{Semana}} \times \frac{52 \text{ semanas}}{\text{Año}} = 1300 \text{ Vehículos / año.}$$

→ Durante la vida útil se obtiene:

$$1300 \text{ Veh./año} \times 25 \text{ años} = 32,500 \text{ Vehículos.}$$

El total de vehículos que representa el tráfico interno al año de diseño son:

- Livianos del tipo Automóvil: 1,018,000.00
  - Semipesados del tipo C2: 2,720.00
  - Pesados del tipo C3: 2,600.00
- 1,023,320.00 Vehículos.

CALCULO DEL ESAL's TOTAL.

Para el calculo del ESAL's se toma de base el procedimiento descrito en el Capitulo IV (apartado 4.2.1.1) en lo referente al calculo de ESAL's .

El valor del ESAL's se calcula tomando en cuenta el tráfico interno y externo a que esta sometida la Calle y Avenida L-3, por lo que se hace necesario calcular un ESAL's interno y un ESAL's externo, ya que son dos condiciones distintas.

**Cálculo del ESAL's interno.**

**DATOS DE TRAFICO**

No. VEHIC. AL AÑO DE DISEÑO	DISTRIBUCION DE VEHICULOS (%)				
	VEHICULOS LIVIANOS	PICK-UP	BUSES	PESADOS DE CARGA	
1,023,320				C2	C3
	99.48	0	0	0.27	0.25

**Cálculo del factor de vehículos para cada categoría**

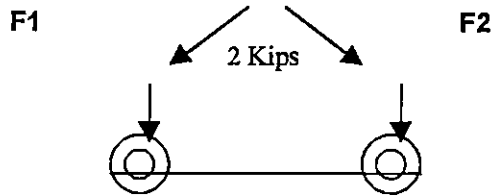
Estos factores son calculados de la siguiente forma:

Se toma como punto de partida los siguientes datos: un índice de serviciabilidad de 2.00 (según el apartado 2.2.1 de la Guía de diseño de pavimentos de la AASTHO) y un espesor de pavimento de 6" (debido a que no se encuentran tabulados valores para espesores menores y no presentan variación significativa para dichos espesores) y con ayuda de las tablas del anexo 1 (que corresponden a las tablas del anexo D10 y D11 de la Guía de la AASTHO) se calculan como sigue:

**1. Se calculan los factores de ejes equivalentes**

**Factor de eje equivalente para automóviles.**

Para este tipo de vehículo los ejes que lo componen son del tipo sencillo y las cargas máximas por eje se visualizan en las tablas del anexo 1.



Según las tablas del anexo 1 (D-10 de AASTHO) tenemos:

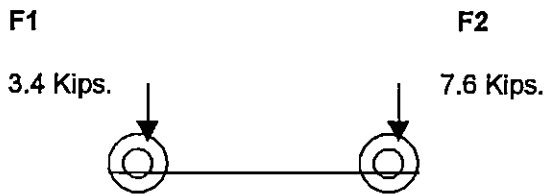
$F1 = 0.0002$  y  $F2 = 0.0002$ .

→ El factor total será  $FT = 0.0002 + 0.0002 = 0.0004$

→ El  $FT = 0.0004$  para vehículos livianos tipo automóviles.

Todos los factores para cada categoría de vehículos se calculan de manera similar a la anterior

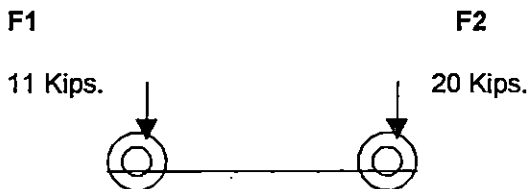
**Factor de eje equivalente para pick-up.**



→  $FT = F1 + F2 = 0.00146 + 0.0302$

→  $FT = 0.03166$

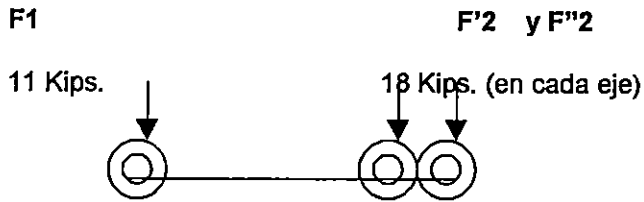
**Factor de eje equivalente para camión del tipo c2.**



→  $FT = F1 + F2 = 0.1365 + 1.55$

→  $FT = 1.6865$

factor de eje equivalente para camión del tipo c3.



$$\rightarrow FT = F1 + F'2 + F''2 = 0.1365 + 0.141 + 0.141$$

$$\rightarrow FT = 0.4185$$

calculo del factor de vehículo para cada categoría

TIPO	CANTIDAD	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	A 18 KIPS DE EJES EQUIVALENTES DE CARGA
AUTOMOVIL	1,018,000	0.0004	4072
CAMION C2	2,720	1.6865	4587.28
CAMION C3	2,600	0.4148	1078.48
TOTAL:			9737.76

El factor de automóvil se calcula como sigue:

$$F \text{ automóvil} = \frac{9737.76}{1,018,00.00}$$

$$F \text{ automóvil} = 0.0096$$

El cálculo para los demás tipos de vehículos es similar.

→ F camión C2 = 3.58

→ F camión C3 = 3.74

#### Factor de carril.

Por ser la vía de un carril en un sentido, según la tabla No 4.2.1.1.10 el factor de carril es de: 1.00.

#### Factor de sentido.

Este se tomará igual a 0.5 ( $F_s = 0.5$ ), por ser la vía de dos sentidos y se analiza un solo sentido. Para calcular el ESAL's se multiplican entre sí los factores obtenidos por el número de vehículos en el primer año para los diferentes tipos de vehículos, la sumatoria de ellos será el ESAL's total.

$$\text{ESAL's} = \sum \text{No. VEH. POR CATEGORIA} \times F_{\text{veh.}} \times F_{\text{carril}} \times F_{\text{sentido}}$$

Considerando el total de vehículos por tipo durante la vida útil de la sobrecapa, se obtiene;

TIPO DE VEHICULO	No. DE VEHICULOS DURANTE LA VIDA UTIL	FACTOR DE VEHICULO ( $F_c$ )	FACTOR DE CARRIL	FACTOR DE SENTIDO ( $F_s$ )	ESAL's
Automóvil	1,018,000.00	0.0096	1.00	0.50	4,886.40
Tipo C2	2,720.00	3.58	1.00	0.50	4,868.80
Tipo C3	2,600.00	3.74	1.00	0.50	4,862.00

TOTAL = 14,617.20

## **CALCULO DEL ESAL's EXTERNO.**

### **1) Cálculo del No. de vehículos**

Según el aforo realizado en la Calle y Avenida L-3, se obtiene la siguiente composición vehicular:

Automóviles: 72.60 %

Pick-up: 23.25 %.

Camiones del tipo C2: 4.15 %.

Aplicando los porcentajes anteriores al TPDA que se calculó calibrándose el tráfico diario que se obtuvo del aforo, se obtienen las cantidades correspondientes para cada tipo de vehículo así:

$$\text{TPDA} = 1,322.00 \left\{ \begin{array}{l} 960.00 \text{ Automóviles.} \\ 307.00 \text{ Pick-up.} \\ 55.00 \text{ Camiones del tipo C2.} \end{array} \right.$$

### **2) Cálculo de volumen de vehículos al primer año.**

$$\text{TPDA} \times 365 = 1322.00 \times 365 = 482,530.00 \text{ Vehículos.}$$

### **3) Factor de crecimiento del tráfico.**

Por el tipo de vía que se está analizando se considera razonable tomar una tasa de crecimiento del tráfico  $r = 1\%$  y un  $n = 25$  Años.

$$\rightarrow F_{\text{crecimiento}} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

→ Frecimiento = 28.24

**4) Cálculo de vehículos para el primer año, según el tipo, así:**

- Automóvil :  $482,530.00 \times 72.60 \% = 350,317.00$
- Pick-up :  $482,530 \times 23.25 \% = 112,188.00$
- Camiones del tipo C2 :  $482,530.00 \times 4.15 \% = 20,025.00$

**5) Factor de carril.**

Por ser la vía de un carril en un sentido, según la tabla No 4.2.1.1.10 el factor de carril es

De: 1.00.

**6) Factor de sentido.**

Este se tomará igual a 0.5 ( $F_s = 0.5$ ), por ser una vía de dos sentidos y se analiza un solo sentido.

**7) Calculo del factor de vehículo para cada categoría**

( Los factores de eje equivalente son los que se calcularon anteriormente)

TIPO	CANTIDAD	FACTOR DE EJE EQUIVALENTE	A 18 KIPS DE EJES EQUIVALENTES DE CARGA
AUTOMOVIL	350,317.00	0.0004	140.13
PICK-UP	112,188.00	0.03166	3551.87
CAMION C2	20,025.00	1.6865	33,772.16
TOTAL:			37,464.16

El factor de automóvil se calcula como sigue:

$$F \text{ automóvil} = \frac{37464.16}{350,317}$$

$$F \text{ automóvil} = 0.107$$

El cálculo para los demás tipos de vehículos es similar.

$$\rightarrow F \text{ de pick-up} = 0.334$$

$$\rightarrow F \text{ camión C2} = 1.871$$

Para calcular el ESAL's se multiplican entre sí los factores obtenidos por el número de vehículos en el primer año para los diferentes tipos de camiones, la sumatoria de ellos será el ESAL's total.

$$\text{ESAL's} = \sum \text{No. VEH. POR CATEGORIA} \times F_{\text{veh.}} \times F_{\text{carril}} \times F_{\text{sentido}}$$

TIPO DE VEHICULO	No. DE VEHICULOS PARA EL PRIMER AÑO	FACTOR DE VEHIC. (Fc)	FACTOR DE CARRIL	FACTOR DE SENTIDO (Fs)	FACTOR DE CRECIM.	ESAL's
Automóvil	350,317.00	0.107	1.00	0.50	28.24	529,272.94
Pick - up	112,188.00	0.334	1.00	0.5	28.24	529,087.58
Tipo C2	20,025.00	1.871	1.00	0.50	28.24	529,030.86

$$\text{TOTAL} = 1,587,391.38$$

$\rightarrow$  EL CALCULO DEL ESAL's TOTAL AL AÑO DE DISEÑO SERA:

$$\text{ESAL's TOTAL} = \text{ESAL's INTERNO} + \text{ESAL's EXTERNO}$$

$$\text{ESAL's TOTAL} = 14,617.20 + 1,587,391.38$$

$$\text{ESAL's TOTAL} = 1,602,008.58$$

<b>ESAL's = 1,602,008.58</b>
------------------------------

### **5.1.2.2 Capacidad de soporte del pavimento.**

El levantamiento físico de las condiciones existentes de la Calle y Avenida L-3, sugiere realizar una evaluación más exhaustiva debido a que existen daños considerables en el pavimento. Para llevar a cabo dicha evaluación se realizó una prueba directa a la estructura del pavimento, específicamente un ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) para una muestra inalterada.

El ensayo somete el espécimen a carga en condiciones naturales (muestra inalterada), para luego obtener un valor de CBR y por medio de correlaciones poder obtener el Modulo de Reacción de la Subrasante (K); que se utilizara posteriormente para el diseño de la Sobrecapa de Concreto Hidráulico de la vía analizada.

Es importante mencionar que el ensayo se realizó solamente con una muestra única, debido a que la longitud del tramo es corta (136 metros), por lo que se considera que el ensayo es representativo para todo el tramo de la vía.

El espécimen obtenido se ensayó en el laboratorio el mismo día, siguiendo todas las recomendaciones de las normas ASTM para este tipo de ensayo.

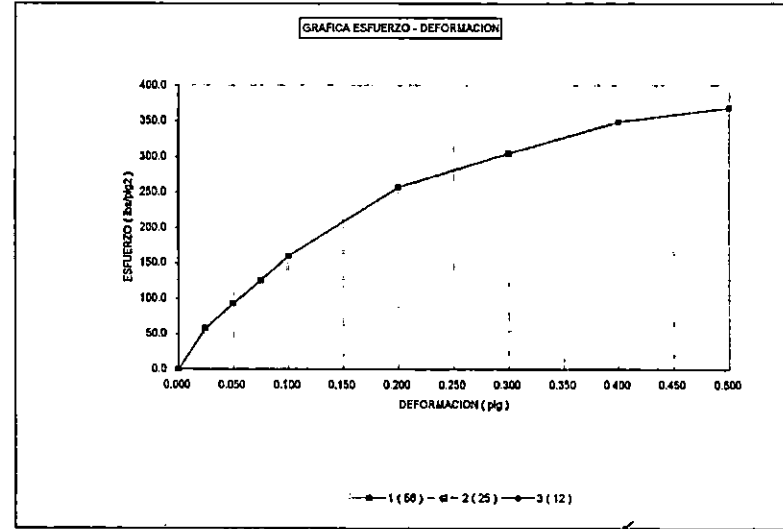
Los resultados del ensayo se presentan a continuación.

CONSULTORA TECNICA S.A. de C.V.  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Proyecto: CIUDAD MERLIDY PUEBLA-3 (UES) Pozo No.: UNICO Muestra No. UNICA  
Estacion: 0+050 UBICACION: LI Prof.: 0.0-0.40 m Fecha Muest.:  
Jefe.Lab: Ing. Pineda Laborat. D Soriano Fecha Ensayo: 17/06/98

COMPACTACION

Molde No.	4 (56)	Peso Espec. Parafina = 1.01 g/cm <sup>3</sup>
Peso de Suelo	m inalterada	Peso de parafina adherida = 850.1 g
Agua Agregada	c. natural	Vol. de parafina adherida = 841.68 cm <sup>3</sup>
Peso Suelo Humedo + Molde+parafina	12042	Volumen del molde = 2281 cm <sup>3</sup>
Peso Molde + parafina	8043.1	Volumen de Suelo Humedo = 1439.32 cm <sup>3</sup>
Peso Suelo Humedo	3998.9	
Volumen de muestra	1439.32	Datos de Espacimen
Contenido de Agua	32.5	Espesor Macadam asf. = 7.0 cm
Peso Volumetrico Humedo	2778	Espesor mat. de base = 10.8 cm
Peso Volumetrico Seco	2097	Espesor mat. de s/res. = 7.0 cm
P.M.SAT + Moldejantes de Penetrar	11681	Alt. de muestra ensayo = 17.8 cm
P.M.SAT + Molde (después de penetr.)	11688	
P.M. Sat. Después de Penetración	3644.9	
Peso Seco Calculado	3270	
Peso Volumetrico Humedo (Saturado)	2532	
Peso Volumetrico Seco (Saturado)	2278	
Recipiente No.	Baso	Sub-Rasante
Peso Suelo Humedo + Tara	725.7	266.0
Peso Suelo Seco + Tara	682.2	240.7
Tara	91.2	73.7
Peso de Agua	43.6	25.3
Peso de Suelo Seco	691.0	167.0
Contenido de Agua (%)	7.4	15.1
Promedios		11.3



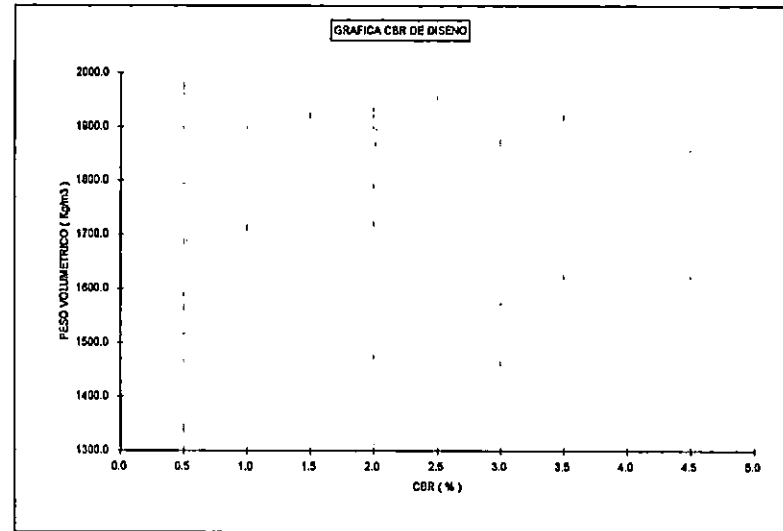
ABUNDAMIENTO

Molde No.	4 (56)	0	0	VALORES DE DISEÑO	
Sobrecarga	10 lbs	10 Lbs	10 Lbs	CBR DISEÑO	0.0%
Hora y Fecha	Lect.	Pulg.	Lect.	85% PVS max	0.0
24/02/98				% HINCH PROM	0.0
25/02/98				VALORES PROCTOR	
26/02/98				PVSmax (Kg/m <sup>3</sup> )	
27/02/98				Wopt (%)	
28/02/98					

A Piston = 3 plg<sup>2</sup>  
K anillo = X(Lbf) = 7.4504 \* L + 17.3936

PENETRACION

Deformacion en Pulgadas	Molde No.	4 (56)	Molde No.	0	Molde No.	0	VALORES CBR (%)	
	Sobrecarga	10 lbs	Sobrecarga	10 lbs	Sobrecarga	10 lbs	PENET (plg)	0.1"
	Tipo	RANURADA	Tipo	RANURADA	Tipo	RANURADA	56G	16.0
0.000	Lect.	Lb/plg <sup>2</sup>	Lect.	Lb/plg <sup>2</sup>	Lect.	Lb/plg <sup>2</sup>	25G	0.0
0.025	0.0	0.0					12G	0.0
0.050	21.0	68.0					PENET (plg)	0.2"
0.075	35.0	92.7					56G	17.1
0.100	48.0	125.0					25G	0.0
0.200	62.0	159.8					12G	0.0
0.300	101.0	256.6						
0.400	120.0	303.8						
0.500	138.0	348.5						
	148.0	368.4						



OBSERVACIONES

Gráficas Esfuerzo vs Deformación sin corrección

Muestra penetrada sin saturación (en condición natural) - (inalterada)

**Determinación del modulo de reacción de la subrasante a partir del valor de CBR utilizando el método AASTHO.**

- Cálculo del Modulo de Resiliencia (Mr).

$$Mr = (700-3000) \times CBR.$$

Se toma el valor de 800 debido a que representa el valor tipo para bases granulares similares al pavimento en estudio.

$$Mr = 800 \times 16 = 12800 \text{ psi.}$$

- Cálculo del modulo de reacción de la estructura del pavimento.

$$K = Mr/19.4 = 12800/19.4 = 659.79 \text{ pci.}$$

#### **5.1.2.3 Condiciones ambientales.**

Coeficiente de drenaje (Cd)

Utilizando la tabla de Coeficiente de drenaje (4.2.1.3.1) se obtiene el valor de coeficiente de drenaje (Cd), teniendo presente que el porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad menores de 1% y su calidad de drenaje es buena. Se obtiene un Cd = 1.20

#### **5.1.2.4 Nivel de confianza y desviación estándar.**

Por ser una vía local y no estar sometida a grandes exigencias de carga, el nivel de confianza en la Calle y Avenida L-3 es de 60% el cual se considera razonable en nuestro medio para este tipo de vía para que se comporte satisfactoriamente durante la vida útil de diseño, según tabla 4.2.1.4.1; y su desviación estándar es de 0.39

#### 5.1.2.5 Módulo de elasticidad y módulo de ruptura del concreto.

$$E_c = 57,000 \sqrt{F'_c} \text{ (PSI)} \quad F'_c = 210 \text{ kg / cm}^2 = 3000 \text{ PSI}$$

$$E_c = 57,000 \sqrt{3,000} \quad EC = 3.122 \times 10^6 \text{ psi}$$

$Mr = 7.5 \sqrt{F'_c} \leftrightarrow 12 \sqrt{F'_c}$  Tomando el valor de  $Mr = 11.42 \sqrt{3.000}$  que corresponde al diseño de mezcla de concreto No. 7 del informe de ICIA para pruebas de diferentes diseños de concreto (ver anexo 2), se obtiene:

$$Mr = 11.42 \sqrt{3.000} \Rightarrow Mr = 625.50 \text{ PSI}$$

#### 5.1.2.6 Coeficiente de transferencia de carga.

Para el cálculo de dicho coeficiente se toman en cuenta los siguientes aspectos propios del proyecto:

- Tipo de pavimento: Vía local de concreto simple
- Cantidad de ESAL's :  $1.6 \times 10^6$
- Tipo de juntas y transferencias de carga : Juntas sin Pasajuntas (trabazón de agregados)

Utilizando la información anterior en la tabla 4.2.1.6.1 se obtiene un coeficiente de transferencia de carga = 3.1

#### 5.1.2.7 Pérdida de serviciabilidad

$$\Delta PSI = P_i - P_t, \quad \Delta PSI = 4.5 - 1.5 = 3.0$$

El valor de 1.5 corresponde al índice terminal de serviciabilidad conveniente para que no se incremente significativamente los costos en la siguiente rehabilitación.

### 5.1.3 Cálculo del espesor de la Sobrecapa.

#### 5.1.3.1 Método de la AASTHO.

Utilizando todos los parámetros de diseño determinados anteriormente, se procede a utilizar la fórmula del método AASTHO que se presenta en el apartado 4.3.

El cual proporciona el siguiente el siguiente valor de espesor: 12.5 cm.

#### 5.1.3.2 Diseño del espesor de la Sobrecapa según criterio de la PCA

Este método considera el soporte proporcionado por el pavimento asfáltico existente ( $K_m$ ) el cual se determina utilizando el módulo de reacción de la subrasante ( $K$ ) y los datos conocidos del espesor total del pavimento existente (carpeta + base).

En nuestro caso particular el valor de  $K$  es igual a  $6.5 \text{ Kg/cm}^3$  y el espesor total del pavimento es igual a  $10.80 \text{ cm. (Base) + } 7.00 \text{ cm. (Macadam) = } 17.80 \text{ cm.}$

Por lo tanto utilizando la tabla 4.4.1.

Al observar la tabla 4.4.1, no está contemplado el valor de  $K=6.5 \text{ Kg/cm}^3$  por lo tanto se interpola geométricamente entre los valores de  $5.6$  y  $8.4 \text{ Kg/cm}^3$  y el espesor existente (asfalto + base) que se tomará será igual a  $15.2 \text{ cm.}$  dejando como factor de seguridad  $2.6 \text{ cm.}$  ya que nuestro valor de espesor total es igual a  $17.8 \text{ cm.}$

$$\therefore K_m = 8.5 \text{ Kg/cm}^3$$

#### Cargas vehiculares.

La PCA sugiere que para el diseño de pavimentos que soportarán tráfico como carreteras principales y autopistas, es necesario contar con un censo vehicular y realizar un análisis de tráfico minucioso, pero para otros casos esto no es imprescindible; ya que se puede clasificar al tráfico de una manera simplificada como se observa en la tabla 4.4.2

Observando la tabla 4.4.2, el tráfico de la Calle y Avenida L-3 (observado en el aforo), podemos afirmar que el tráfico corresponde a la clasificación del tipo A

#### **Espesor de la Sobrecapa de concreto hidráulico.**

Una vez definido el módulo de soporte existente Km del pavimento y el tipo de tráfico al que dará servicio, se determina el espesor mínimo del pavimento de concreto con la ayuda de la tabla No. 4.4.3

Utilizando tráfico tipo A y Km en el rango alto se obtiene un espesor de 8.9 centímetros.

**Observación:** cuando se utilizo la formula del método AASTHO, el valor de espesor obtenido se considera bastante conservador, ya que esta formula esta diseñado para trabajar con espesores convencionales de Sobrecapas de Concreto Hidráulico.

Con respecto al método de la PCA se obtuvo un valor de espesor que corresponde a las Sobrecapas del tipo Ultradelgadas.

Obteniéndose de esta manera dos valores limites para espesores entre los cuales, se selecciona el espesor final de 10 cm.

#### **5.1.4 Diseño de juntas longitudinales y transversales.**

##### **5.1.4.1 Juntas Transversales.**

En este apartado se presenta el diseño de juntas transversales utilizando criterios de AASTHO y PCA, ya que el diseño del espesor se ha realizado por ambos métodos.

En realidad si un diseño se inicia con un determinado método se debe de continuar utilizando el mismo para todos los aspectos que comprende el diseño. Pero con respecto a los métodos de la PCA y ACPA, estos adoptan la mayoría de criterios de la AASTHO (referente a diseño de juntas y especificaciones) por tal razón el presente diseño de juntas se basa en criterios de la AASTHO siguiendo recomendaciones de PCA y ACPA, sin olvidar criterios empíricos de buena practica (mencionados en el apartado 4.6.2)

### **Espaciamiento entre juntas**

Según AASTHO, ACPA, y PCA, el espaciamiento máximo entre juntas (en pies) no debe exceder el doble de la losa (en pulgadas), coincidiendo este criterio, con la regla empírica de buena practica que sugiere un espaciamiento no mayor a 25 veces el espesor en centímetros para un clima (como el nuestro) donde no se producen fuertes variaciones de temperatura entre el día y la noche.

Espesor de losa : 10 cms.

Espaciamiento : 2.5 cms.

Con el fin de evitar que la losa trabaje mas a flexión que a compresión, se reduce el espaciamiento a 2 mts. Para que la losa trabaje a Flexo-compresión y evitar agrietamientos.

La profundidad del aserrado no excederá de  $\frac{1}{4}$  del espesor de la losa : 2.5cms. después del aserrado de 2.5cms. se procede a realizar un segundo aserrado (más ancho y menos profundo) aproximadamente de 1.5 cms. Con el fin de crear una grada y colocar la tira de respaldo que garantiza que el sellante no baje al fondo del primer aserrado.

Ancho del aserrado final : 7 mm.

En los puntos donde el espesor de losa sea mayor que el nominal en aproximadamente 2.5cms. (cuando se coloca el concreto en forma directa y existan roderas menores de 5cms.), se deberá realizar un aserrado con una profundidad mayor, con el fin de que la losa se comporte satisfactoriamente.

#### **5.1.4.2 Juntas longitudinales.**

La junta longitudinal en el carril de diseño, divide a este longitudinalmente en dos, obteniéndose tableros de 2.00 mts x 1.5 mts

El sellante será un sello de compresión preformado según las normas ASTM D2628-81, adhesivo lubricante ASTM D2835.

### 5.1.5 Materiales y cantidades de obra

#### Materiales

- CEMENTO : El cemento portland a utilizar debera cumplir con las especificaciones de la ASTM – C 1157
- ARENA : Debe cumplir con la granulometria estipulada por la AASHTO – M 6 , el porcentaje que pase la malla # 200 no debera exceder el 4% del peso seco, según AASHTO- T11
- GRAVA : Debera cumplir con cualquiera de las granulometrias , según la AASHTO- M43 ,el análisis granulometrico deberá realizarse de acuerdo a la norma ASTM –E 11

Adicionalmente deberán cumplir las siguientes características; la norma AASHTO- M80, establece: Máximo en partículas de arcilla 5%, máximo en partículas con gravedad especifica menor de 2.4, 5% máximo que pasa la malla numero 200, 1.5% máximo en abrasión 5% (Según la norma AASHTO- T96).

- AGUA : El analisis del agua que se empleara en la fabricacion del concreto y el curado del mismo se hará de acuerdo a la AASHTO- T26 .
- ADITIVOS : Los aditivos a emplearse en el concreto deberán cumplir con la norma AASHTO- M19, en el caso de emplearse agentes inclusores de aire deberán cumplir con la norma AASHTO- M154.
- CONCRETO : El concreto deberá tener las siguientes características :
  - a)  $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$
  - b) Revenimiento = 3" máximo
  - c) Tamaño máximo de agregado = 1 ½ "
  - d) Modulo de ruptura a la edad de 28 días = 44.05 kg/ cm<sup>2</sup> ( ASTM-C78 , Tres apoyos )

Para obtener estos resultados los materiales a utilizar para obtener 1 m<sup>3</sup> de concreto serán :

- Tipo de cemento: CESSA ASTM-C1157 → 289.9 Kg/m<sup>3</sup>.

Agrado grueso :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{grava G-1} \rightarrow 549.7 \text{ Kg/m}^3. \\ \text{grava G-2} \rightarrow 366.4 \text{ Kg/m}^3. \end{array} \right.$

- Agrado fino : Arena → 800.0 Kg/m<sup>3</sup>.

- Agua: → 167.5 a 230.8 Lts./m<sup>3</sup>.

- Modulo de finura : 3.0

- Relación agua/ cemento : 0.59

- Peso por bolsa de cemento : 42.5 kgs.

- Gravedad especifica de cemento : 3.15

- Materiales para curado : La membrana impermeable que se utilice en el curado del concreto se regirá bajo la norma AASHTO- M I 48, y AASHTO- T26, para el agua que se utilice para el curado.

- Materiales para sellado de juntas: Deberán cumplir con la norma ASTM- D1190 o ASTM- D3405

#### Cantidades de obra

Proyecto : Calle y Avenida L-3, Ciudad Merliot

Longitud : 138.5 mts.

Ancho de superficie de rodamiento : 6.14 mts.

El volumen total de mt<sup>3</sup> a utilizar de concreto será de :

$$VT = 138.5 \text{ mt} \times 6.14 \text{ mt} \times 0.1 \text{ mt}$$

$$VT = 85 \text{ mt}^3 \text{ de concreto.}$$

Encofrado: 850.19 m<sup>2</sup>.

### **5.1.6 Proceso de construcción del proyecto: calle y avenida L-3, ciudad Merliot.**

El espesor de la sobrecapa a colocar será de 10 cm. La colocación de la sobrecapa de concreto hidráulico se hará directamente sobre el asfalto existente, previo a la colocación del concreto se debe lavar con agua la superficie de la carpeta asfáltica o de limpiar con aire a presión, con el fin de retirar polvos u otro tipo de materia que pueda reducir la adherencia entre el concreto y la carpeta asfáltica.

Luego que la carpeta asfáltica se encuentra completamente limpia, colocará y nivelará los moldes fijos a lo largo del perímetro del pavimento, según la geometría de la vía, deberán colocarse en forma segura y fija, teniendo la resistencia suficiente para retener el concreto sin deflectarse o desviarse, al mismo tiempo no deberá dejar escapar el mortero, la madera a utilizar tendrá una cara cepillada y un espesor uniforme, así mismo la madera deberá estar desprovista de agujeros, nudos, hendiduras, combas y otros defectos que perjudiquen su resistencia.

La losa de concreto se construirá utilizando una regla vibratoria, el concreto deberá ser distribuido en forma uniforme sobre la carpeta asfáltica de tal manera que se requiera un mínimo de redistribución.

El concreto debe quedar perfectamente vibrado y enrasado, el texturizado final deberá hacerse por cualquier método de texturización, teniendo el cuidado que las marcas no sean mayores de 1.5 mm. El curado de la superficie de concreto deberá realizarse inmediatamente después del texturizado, ya sea utilizando compuestos para curado o cualquier otra técnica.

Las juntas deben aserrarse tan pronto como sea posible, espaciadas a cada 2 mt. En tableros de 1.5 x 2 mt. La profundidad del aserrado debe ser de 2.50 cms. Y el ancho de 7 mm. Teniendo presente que la profundidad del aserrado será mayor en aquellos puntos donde el espesor de la Sobrecapa sea mayor que el espesor nominal debido a distorsiones (roderas), de

la carpeta asfáltica, además deberá tenerse el cuidado de chequear constantemente el espesor de la Sobrecapa durante el colado.

Se anexa el plano de Calle y Avenida L-3 con todos sus detalles de diseño.

# **CAPITULO VI**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## CONCLUSIONES

- Según investigaciones realizadas en el presente trabajo, la vida útil de la mayoría de vías urbanas del AMSS ha finalizado, por lo tanto se requieren métodos de rehabilitación eficientes que requieran un mínimo mantenimiento durante su vida útil y que soporten satisfactoriamente el creciente e intenso tráfico.
- Por el constante mantenimiento correctivo (bacheo) y rehabilitación que reciben las vías urbanas del AMSS, el uso de Sobrecapas de Concreto Hidráulico es una alternativa excelente para la rehabilitación de pavimentos flexibles comprobado con éxito en muchos países.
- El uso de las Sobrecapas de concreto hidráulico, es un método factible, desde el punto de vista técnico - económico. por tal razón puede ser aplicado satisfactoriamente en nuestras vías urbanas y carreteras.
- Según investigaciones realizadas en E.E.U.U. México, Argentina y algunos Países de Europa, en lo referente a la adherencia, el eficiente comportamiento estructural de las Sobrecapa UTW, es el resultado del trabajo conjunto (pavimento compuesto) entre la capa asfáltica y la capa de Concreto Hidráulico, ya que los esfuerzos de compresión y tensión son absorbidos por la capa de concreto hidráulico y la capa asfáltica, respectivamente.
- En el ensayo de placa de carga no repetitiva se determina el módulo de reacción del suelo el cual es indispensable en el diseño de pavimentos rígidos y Sobrecapas de concreto hidráulico.

- Referente a los métodos de diseño se puede afirmar que el procedimiento para diseñar Sobrecapas Convencionales (10 a 30 centímetros), consiste en considerarlo como si fuera un pavimento nuevo(no importando la adherencia), aplicando técnicas de los métodos AASTHO y PCA. , que utilizan como base el modulo de reacción de la estructura(K).
- Dada la capacidad del concreto para "puentear" zonas deterioradas del pavimento existente, la fisuración de la Sobrecapa por reflexión no es un problema con el Whitetopping.
- Debido a la presencia del pavimento flexible , la Sobrecapa de concreto hidráulico convencional se comporta estructuralmente como si se hubiera colocado sobre una base de calidad. reduciendo en gran medida problemas de pérdida de soporte, bombeo de finos, escalonamiento de juntas y roturas de esquina.
- La Sobrecapa de Concreto también puede resolver problemas aislados que el pavimento flexible no sería capaz. Debido a que las Sobrecapas de concreto, dependen en menor medida del estado de las capas inferiores.
- Según investigaciones realizadas en este trabajo, se detectó que las cargas por eje en los vehículos de transporte pesado, sobrepasan las cargas máximas permisibles, provocando con esto daños severos a la estructura del pavimento.
- El diseño adecuado de un sistema de juntas permite el movimiento de las losas evitando el agrietamiento en el concreto, ahorrando con esto el refuerzo de acero.
- La Sobrecapa de concreto es una técnica especialmente aconsejada en casos donde no se

permiten grandes gastos de mantenimiento (presupuestos anuales reducidos), y donde existen grandes volúmenes de tráfico que no permiten interrupciones frecuentes.

- El espaciamiento adecuado entre juntas permite que las losas (tableros) se comporten estructuralmente a flexocompresión, obteniéndose con ello un sistema viable desde el punto de vista técnico-económico.
- El esviajamiento de las juntas transversales, reduce los esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto, para ciertas condiciones específicas de carga y tráfico, disminuyendo además el efecto de bombeo y falla, produciendo una transferencia adecuada de carga.
- El uso de juntas esviajadas se recomienda para pavimentos que soportan un tráfico vehicular de baja intensidad, pero en caso de altos volúmenes de tráfico es necesario colocar a este tipo de junta su respectivo pasador, para mejorar la transferencia de carga.
- El aserrado de juntas longitudinales y transversales se debe realizar antes de que se presenten esfuerzos iniciales en el concreto evitando con esto la aparición de grietas en las losas.
- La calidad del sellante, así como un buen diseño del mismo permitirá un buen comportamiento a largo plazo, evitando el paso de humedad y el arrastre de partículas incompresibles dentro de las juntas.
- La aplicación adecuada de las técnicas para el curado permite obtener la máxima resistencia del concreto, disminuyendo la posibilidad que se genere pérdida de humedad y formación de grietas por contracción.

- En lo referente a las Sobrecapas ultradelgadas no existe en la actualidad un metodo de diseño específico, pero si lineamientos generales proporcionados por la PCA, que conducen a diseños bastante razonables.
- Las técnicas de pavimentación del tipo apertura rápida (Fast-Track), se pueden aplicar fácilmente en la construcción de Sobrecapas de concreto hidráulico, siempre y cuando se tenga un estricto control en fases que comprende la construcción.
- Con las nuevas tecnologías y el uso de maquinaria moderna de pavimentación, se pueden realizar proyectos con periodos cortos de tiempo, logrando su máxima eficiencia.
- Mediante el ensayo de Placa de Carga (Repetitiva) se puede conocer perfectamente el modulo de Resiliencia del suelo y las capas de un pavimento, obteniéndose con esto una herramienta de campo practica y representativa.
- Cuando se diseñan espesores de Whitetopping se debe considerar la envergadura del proyecto, experiencias de campo y métodos teóricos de diseño para poder obtener un diseño confiable desde el punto de vista tecnico-economico.
- El daño ocasionado en el pavimento por cargas dinámicas es leve comparado con el que se produce con cargas lentas y/o estáticas, por tal razón las tablas que se utilizan en el método de la PCA proporciona un diseño confiable para vías locales, ya que están creadas para ser usadas en el diseño de estacionamientos donde se producen cargas estáticas y lentas debido a las maniobras que se realizan en estos.

## RECOMENDACIONES.

- Debido a que no existe en la actualidad un método de diseño específico para Sobrecapas Ultradelgadas, sería conveniente continuar con las investigaciones respecto al tema, para llegar a establecer una metodología específica al problema planteado.
- Realizar tramos experimentales en nuestro país utilizando recursos tecnológicos como deformímetros electrónicos, etc. con el fin de llevar a cabo una investigación monitoreando el comportamiento estructural de las Sobrecapas(UTW), obteniendo de esta manera, datos importantes que podrían ser utilizados para continuar con la investigación.
- Investigar con mayor propiedad la adherencia que existe entre el asfalto y el concreto (UTW), ya que hasta el momento su excelente comportamiento se deriva de observaciones empíricas realizadas, según lo investigado.
- Para el análisis del tráfico residencial o local (ESAL's interno), se debe utilizar una metodología específica para este tipo de tráfico, tomando como base el procedimiento mencionado en el Capítulo V.
- Los parámetros utilizados en los métodos de diseño (AASTHO y PCA) pueden ajustarse a las condiciones existentes de nuestro medio, con la finalidad de obtener diseños razonables desde el punto de vista técnico y económico.

- Cuando los machimbrados son demasiado grandes o cuando se localizan por arriba de la parte media del espesor de la losa, pueden fallar por cortante a lo largo de la junta, produciendo astillamiento, ocasionando así un deterioro gradual de las losas.
- Realizar investigaciones para obtener correlaciones confiables entre valores de CBR y Prueba de Placa (No repetitiva) adaptadas a las condiciones existentes en nuestro medio.
- A las instituciones encargadas del mantenimiento y rehabilitación del Sistema Vial, tomar en cuenta la alternativa adicional de rehabilitación utilizando Sobrecapas de concreto hidráulico, la cual ofrece muchas ventajas.
- A las diferentes Instituciones formadoras de profesionales, fomentar el tipo de trabajos de carácter investigativo de nuevas tecnologías, con el fin de contar con investigaciones y experiencias propias acordes a nuestra realidad.
- En el diseño del sistema de juntas es importante que se proporcione un plano con todos los detalles específicos, para evitar errores de interpretación cuando se ejecute el proyecto.
- En el proceso constructivo de pavimentos y sobrecapas de concreto hidráulico se requiere de un equipo y personal especializado en las áreas de: colocación de concreto, aserrado y sellado de juntas, así como también un encargado en la producción del concreto.

## BIBLIOGRAFIA

1. AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
2. Subgrades and Subbases for Concrete Pavements,  
ACPA, 1994.
3. Guide for Construction of Concrete Pavement and Concrete Bases.  
Reported By ACI, Committee 316.
4. Federal Highway Administration, " Pavement Rehabilitation Manual".  
Pavement Division, office of highway operations, Washington, DC.
5. Joint Design for Concrete Highway and Pavement  
PCA.
6. Guidelines for Concrete Overlays of Existing Asphalt Pavement (Whitetopping)  
ACPA.
7. Concrete Streets: Typical Pavement Sections and Jointing Details  
PCA.
8. Ingeniería de Tránsito.  
Fundamentos y Aplicaciones, 7ª. Edición.  
Rafael Cal y Mayor R.  
James Cardenas G.

9. Guía para el Diseño de Sobrecapas de Concreto Hidráulico  
PCA.
  
10. Pavimentos de Concreto  
Manual de Diseño  
ICPC.
  
11. Ingeniería de Carreteras y Aeropuertos  
Adrián R. Legault.
  
12. Departamento de Ingeniería de tránsito  
Viceministerio de Transporte. San Salvador, El Salvador.
  
13. Sección de Pesos y Medidas de la D.G.C.
  
14. Primer Foro Interamericano para la Promoción y el Desarrollo de los Pavimentos de  
Concreto Hidráulico  
IMCYC , FICEM.
  
15. Revista Construcción y Tecnología:
  - Rehabilitación de Pavimentos Flexibles mediante Losas Delgadas de Concreto (Oct. de 1996).
  - Sobrecapas de Concreto (Marzo de 1995).
  - Pavimentos de Concreto sobre Asfalto.

16. Manuales para el Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos.

Instituto del Asfalto.

17. Rehabilitación de Pavimentos Flexibles con Concreto Vibrado.

Ing. Carlos Jofre, 1er. Congreso Nacional de Vías Terrestres, El Salvador.

18. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.

Alfonso Rico y Hermilio del Castillo.

19. Diseño de Juntas para Pavimentos de Concreto

Depto. de Servicios Técnicos

PCA, Skokie Illinois.

# **ANEXOS**

# **ANEXO 1**

Table D.10. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles and  $p_i$  of 2.0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)														
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
6	.011	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
8	.035	.033	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032
10	.087	.084	.082	.081	.080	.080	.080	.080	.080	.080	.080	.080	.080	.080	.080
12	.186	.180	.176	.175	.174	.174	.174	.174	.174	.174	.173	.173	.173	.173	.173
14	.353	.346	.341	.338	.337	.336	.336	.336	.336	.336	.336	.336	.336	.336	.336
16	.614	.609	.604	.601	.599	.599	.599	.599	.599	.599	.598	.598	.598	.598	.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.53	3.53	3.53	3.54	3.54	3.54	3.55	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.02	5.02	5.02	5.04	5.04	5.04	5.06	5.06	5.06
28	6.58	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	6.94	6.94	6.94	7.00	7.00	7.00	7.02	7.04	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.39	9.39	9.39	9.48	9.48	9.48	9.54	9.56	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.4	12.4	12.4	12.6	12.6	12.6	12.7	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.2	16.2	16.2	16.4	16.4	16.4	16.6	16.7	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	20.7	20.7	20.7	21.1	21.1	21.1	21.4	21.5	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.1	26.1	26.1	26.7	26.7	26.7	27.1	27.4	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	32.6	32.6	32.6	33.4	33.4	33.4	34.0	34.4	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	40.1	40.1	40.1	41.3	41.3	41.3	42.1	42.7	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	49.0	49.0	49.0	50.4	50.4	50.4	51.6	52.4	52.4
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	59.3	59.3	59.3	61.1	61.1	61.1	62.6	63.7	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	71.2	71.2	71.2	73.3	73.3	73.3	75.3	76.8	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	84.9	84.9	84.9	87.4	87.4	87.4	89.8	91.7	91.7

Table D.11. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles and  $P_1$  of 2.0

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0006	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005
6	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
8	.006	.006	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005
10	.014	.013	.013	.012	.012	.012	.012	.012	.012	.012	.012	.012	.012	.012
12	.028	.026	.026	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025
14	.051	.049	.049	.048	.047	.047	.047	.047	.047	.047	.047	.047	.047	.047
16	.087	.084	.084	.082	.081	.081	.081	.081	.081	.081	.081	.081	.081	.081
18	.141	.136	.136	.133	.132	.131	.131	.131	.131	.131	.131	.131	.131	.131
20	.216	.210	.210	.206	.204	.203	.203	.203	.203	.203	.203	.203	.203	.203
22	.319	.313	.313	.307	.305	.304	.303	.303	.303	.303	.303	.303	.303	.303
24	.454	.449	.449	.444	.441	.440	.439	.439	.439	.439	.439	.439	.439	.439
26	.629	.626	.626	.622	.620	.618	.618	.618	.618	.618	.618	.618	.618	.618
28	.852	.851	.851	.850	.850	.849	.849	.849	.849	.849	.849	.849	.849	.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
40	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.09	6.09	6.10	6.10	6.10	6.10
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.41	7.41	7.43	7.43	7.43	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.88	8.93	8.93	8.93	8.96	8.96	8.96	8.96
50	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.69	10.69	10.73	10.73	10.73	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.7	12.7	12.8	12.8	12.8	12.8
54	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.0	15.0	15.1	15.1	15.1	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.6	17.6	17.7	17.7	17.7	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.5	20.5	20.7	20.7	20.7	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	23.8	23.8	24.0	24.0	24.0	24.0
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.5	27.5	27.7	27.7	27.7	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.6	31.6	31.9	31.9	31.9	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.1	36.1	36.5	36.5	36.5	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.1	41.1	41.6	41.6	41.6	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	46.6	46.6	47.3	47.3	47.3	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	52.6	52.6	53.5	53.5	53.5	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	59.2	59.2	60.3	60.3	60.3	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	66.4	66.4	67.7	67.7	67.7	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	74.3	74.3	75.8	75.8	75.8	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	82.8	82.8	84.7	84.7	84.7	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	92.1	92.1	94.2	94.2	94.2	94.2
84	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	102.	102.	105.	105.	105.	105.
86	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	113.	113.	116.	116.	116.	116.
88	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	125.	125.	128.	128.	128.	128.
90	138.	132.	129.	128.	129.	131.	134.	137.	137.	137.	141.	141.	141.	141.

# ANEXO 2

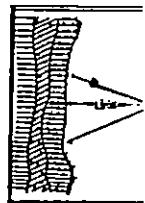
...

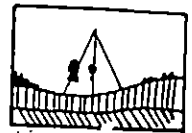
# CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS.

PROCEDENCIA	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	PESO VOL. VARILLADO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	PESO VOL. SUELTO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	ABSORCION (%)	MODULO DE FINURA*	TAMAÑO MAX. (PULG.)*
<b>ARENAS</b>						
RIO LAS CAÑAS	2.167	1519.0	1400.5	5.59	3.00	
SALTEX	2.210	1560.4	1468.9	3.75	2.96	
<b>GRAVAS</b>						
PROTERSA GRAVA Nº 1	2.639	1528.4	1427.4	2.35		$\frac{1}{2}$
GRAVA Nº 2	2.653	1512.6	1375.7	2.14		
C. SALVADOREÑA GRAVA Nº 1	2.529	1521.8	1411.8	2.03		$\frac{1}{1 \frac{1}{2}}$
GRAVA Nº 2	2.515	1534.5	1393.4	2.05		
PROGRAVA GRAVA Nº 1	2.568	1576.1	1448.2	2.15		$\frac{1}{1}$

ICIA, S.A. de C.V.  
 Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.

Ingenieros Civiles  
 Asociados  
 ICIA, S.A. de C.V.  
 P.O. Box 100, El Salvador, C.A.





Trabajo No. --- Obra "MEZCLA DE PRUEBA CESSA".  
 Ubicacion ---  
 Muestra No. --- Material Arena.  
 Procedencia Rio Las Cañas  
 Ensayo No. --- Laboratorista K.Z. Fecha 21/07/98.

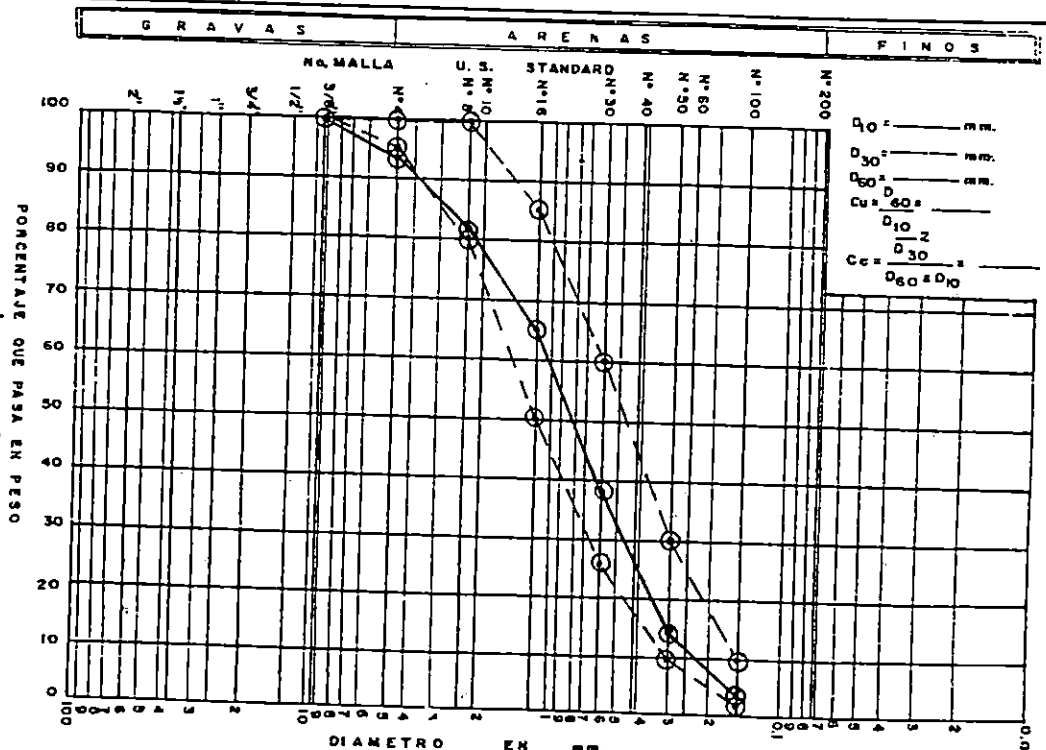
## ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Pesolnicial 1064.9 Grs Humedad --- % Peso Seco --- Grs

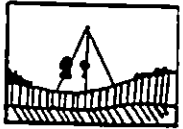
MALLA	PESO RETENIDO Grs	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	OBSERVACIONES
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0	ASTM C 33
Nº 4	61.3	5.8	5.8	94.2	100
Nº 8	126.4	11.9	17.7	82.3	95 - 100
Nº 16	173.4	16.3	34.0	66.0	80 - 100
Nº 30	289.4	27.1	61.1	38.9	50 - 85
Nº 50	260.1	24.4	85.5	14.5	25 - 60
Nº 100	113.8	10.7	96.2	3.8	10 - 30
Fondo	40.5	3.8	100.0		2 - 10
Sumas	1064.9	100.0			

Gravas = 5.8 %  
 Arenas = 90.4 %  
 Finos = 3.8 %  
 M.F. = 3.003

### CLASIFICACION



Absorcion : \_\_\_\_\_  
 Gravedad Especifica : \_\_\_\_\_  
 Modulo de Finura : \_\_\_\_\_  
 Colorimetria \_\_\_\_\_  
 Reviso : \_\_\_\_\_  
 Fecha : \_\_\_\_\_



Trabajo No. \_\_\_\_\_ Obra "MEZCLA DE PRUEBA CESSA".  
 Ubicacion \_\_\_\_\_  
 Muestra No. \_\_\_\_\_ Material Grava N° 1.  
 Procedencia Concretera Salvadoreña  
 Ensayo No. \_\_\_\_\_ Laboratorio A.M.R. Fecha 11/08/98.

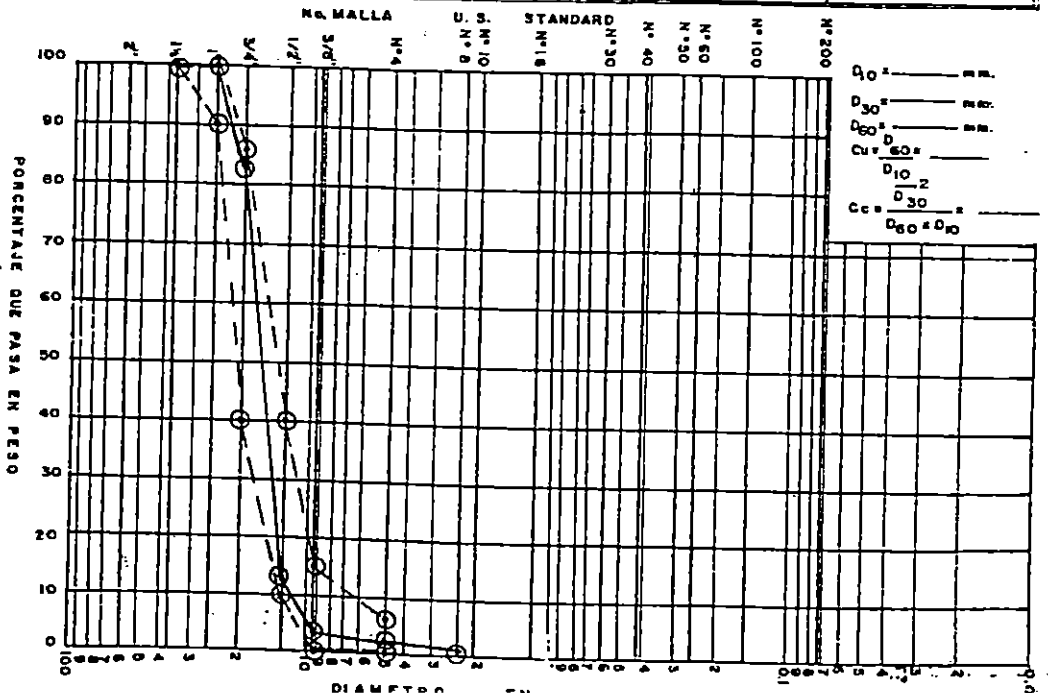
## ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Peso Inicial 3008.0 Grs      Humedad \_\_\_\_\_ %      Peso Seco \_\_\_\_\_ Grs

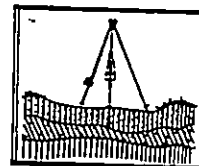
MALLA	PESO RETENIDO Grs	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	OBSERVACIONES ASTM C '33 , N° 56
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	
1"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
3/4"	502.1	16.7	16.7	83.3	90 - 100 40 - 85
1/2"	2114.0	70.3	87.0	13.0	10 - 40
3/8"	283.5	9.4	96.4	3.6	0 - 15
N° 4	60.2	2.0	98.4	1.6	0 - 5
N° 8	14.4	0.5	98.9	1.1	
Fondo	33.8	1.1	100.0		
Sumas	3008.0	100.0			

### CLASIFICACION

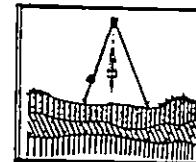
G R A V A S	A R E A S	F I N O S
-------------	-----------	-----------



Absorción : \_\_\_\_\_  
 Gravedad Especifica : \_\_\_\_\_  
 Modulo de Finura : \_\_\_\_\_  
 Colorimetria \_\_\_\_\_  
 Reviso : \_\_\_\_\_  
 Fecha : \_\_\_\_\_



MEZCLA TEORICA DE  
PRUEBA N° 7.



Dosificación de Mezcla Según Comité ACI 211.1 – 85, Volúmenes  
Absolutos.

Proyecto : "MEZCLA TEORICA DE PRUEBA N° 7".  
Cemento : CESSA ASTM C 1157.  
F'c : 210 Kg/cm<sup>2</sup>  
Descripción : Mezcla Teórica de Prueba N° 7, utilizando: Arena proveniente de Río Las Cañas, Grava G-1 y G-2 proveniente de Concretera Salvadoreña.

Revenimiento : 3" máximo.

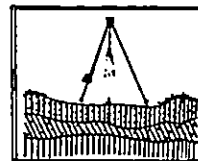
Modulo de finura: 3.00

Tamaño máximo de agregado: 1 ½".

Peso por bolsa-cemento : 42.5 Kgs.

Gravedad específica del  
cemento : 3.15

MT07-210 Kg/cm<sup>2</sup>.



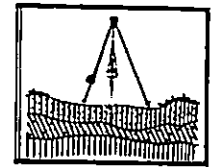
## CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS.

	ARENA (Río Las cañas)	GRAVAS (C. Salvadoreña)	
		G-1	G-2
Gravedad específica:	2.167	2.529	2.515
Peso volumétrico varillado (Kg/m <sup>3</sup> ):	1518.9	1521.8	1534.5
Peso volumétrico suelto (Kg/m <sup>3</sup> ):	1400.5	1411.8	1393.4
Absorción (%):	5.59	2.03	2.05
Combinación grava:	-----	60 %	40 %

## CANTIDADES REQUERIDAS PARA UN M<sup>3</sup> DE CONCRETO. (En peso).

Agua .....	167.5 – 230.8 Lts/m <sup>3</sup>
Cemento .....	283.9 Kg/m <sup>3</sup>
Arena .....	800.3 Kg/m <sup>3</sup>
Grava G-1 .....	549.7 Kg/m <sup>3</sup>
Grava G-2 .....	366.4 Kg/m <sup>3</sup>

MT07-210 Kg/cm<sup>2</sup>.



## Resultados Obtenidos. Mezcla Teórica de Prueba N° 7.

F'c : 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

Agregado grueso: Grava G-1 y Grava G-2 proveniente de Concretera Salvadoreña, Ø max. 1½".

Agregado fino: Arena proveniente de Río Las Cañas.

Modulo de finura: 3.00.

Relación agua/cemento: 0.59.

Tipo de cemento: CESSA ASTM C 1157.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DEL CONCRETO ASTM C - 39.

Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Rev. (Pulg.)	Temperatura °C	Peso Vol. (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
17-Ago-98	24-Ago-98	7	2 ¾	27.4	2286.7	48286	273.3
"	31-Ago-98	14	"	"	2266.9	52373	298.4
"	14-Sep-98	28	"	"	2265.8	58503	326.7
"	"	"	"	"	2248.4	57481	312.6

## MODULO DE RUPTURA. ASTM C - 78.

Fecha de Elaboración	Fecha de Ruptura	Edad (días)	Rev. (Pulg.)	Temperatura °C	Carga (Kg)	Modulo de Ruptura (Kg/cm <sup>2</sup> ) *
17-Ago-98	31-Ago-98	14	2 ¾	27.4	2545.5	32.7
"	"	"	"	"	2727.3	34.8
"	16-Sep-98	30	"	"	3500.0	44.9
"	"	"	"	"	3409.1	43.2

Método ASTM C-78, tres apoyos.