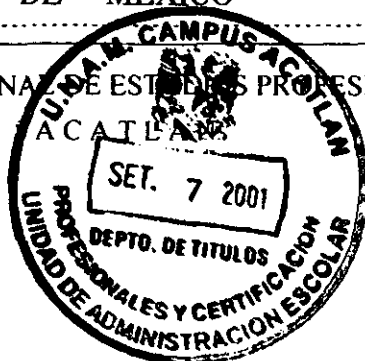


6



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLÁN



"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN  
PAVIMENTO RIGIDO"

296227

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JOSE JESUS CARDELAS ALCANTARA

ASESOR: ING. CARLOS GONZALEZ ROGEL.



ACATLÁN, EDO. DE MÉXICO. AGOSTO DE 2001.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

A Dios.

Por ser el creador de todas las cosas, que me ha dado la vida para realizarla en plenitud.

A mis Padres:

Benito Cardelas Miranda  
Joaquina Alcántara de Cardelas

Gracias por todo su amor y por los consejos y ejemplos que me han brindado para hacer de mi un hombre de bien y poder culminar esta etapa en mi vida.

A mi esposa:

Rosario Pérez de Cardelas

Gracias Amor por toda tu comprensión, apoyo y cariño en todo tiempo, siendo la ayuda idónea para mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, Ing. Carlos Gonzáles Rogel, por toda su ayuda y tiempo dedicado a la realización de este trabajo.

A los ingenieros Manuel Gómez G. y Pablo Pavia O. por su apoyo para la realización de este trabajo.

A los profesores de Ingeniería civil de la ENEP Acatlán, ya que a través de sus cátedras transmitieron sus conocimientos y experiencias como profesionistas, inculcándome un deseo de superación.

A los ingenieros Carlo López M. Y Norman López M. por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo.

A mis compañeros de trabajo, Ing. Juan Manuel Flores T., Arq. Andrés Ortiz V., Lic. Gustavo Lira F. y Fabián Colín M. por su apoyo incondicional en todo momento.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron para la realización de éste trabajo.

## ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN .....	I
<b>CAPÍTULO 1 = GENERALIDADES =</b>	
1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS .....	4
1.1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	5
1.1.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	8
1.2 DESARROLLO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN MÉXICO ...	11
1.2.1 SITUACIÓN HISTÓRICA .....	11
1.2.2 PROYECTOS REALIZADOS EN MÉXICO .....	15
1.3 ESTUDIO DEL USO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO .....	20
1.3.1 VENTAJAS .....	20
1.3.2 LIMITANTES .....	21
<b>CAPÍTULO 2 = CONSTRUCCIÓN DE TERRACERÍAS =</b>	
2.1 DESMONTE .....	26
2.1.1 PROCEDIMIENTOS .....	26
2.1.2 NORMAS .....	27
2.2 TERRACERÍAS .....	30
2.2.1 SECCIONES .....	30
2.2.2 CORTES .....	32
2.2.2.1 PRESTAMOS .....	35
2.2.3 TERRAPLENES .....	36
2.2.4 PRINCIPIO DE APOYO UNIFORME .....	41
2.2.5 SUBRASANTE .....	43
2.2.5.1 SUELOS EXPANSIVOS .....	43
2.2.6 SUB-BASE .....	48
2.2.6.1 EFECTO DE BOMBEO .....	49
2.2.6.2 TIPOS Y CONSTRUCCIÓN .....	50
2.3 COMPACTACIÓN .....	61
2.3.1 MÉTODOS Y EQUIPO .....	61
2.3.2 GRADO DE COMPACTACIÓN .....	66
<b>CAPÍTULO 3 = CARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO =</b>	
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO .....	68
3.1.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO .....	68
3.1.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO .....	72
3.1.3 ADITIVOS .....	76
3.1.4 PROPORCIONAMIENTO .....	78
3.2 JUNTAS .....	80
3.2.1 DESARROLLO NATURAL DE GRIETAS .....	81
3.2.2 EFICIENCIA DE LAS JUNTAS .....	83
3.2.3 TIPOS DE JUNTAS .....	87
3.2.4 SELLO DE JUNTAS .....	92

3.3	MAQUINARIA Y EQUIPO .....	94
3.3.1	PLANTA CENTRAL DE MEZCLADO .....	94
3.3.2	PLANTA DOSIFICADORA .....	95
3.3.3	PAVIMENTADORAS DE CIMBRA DESLIZABLE .....	96
3.3.4	PAVIMENTADORAS DE CIMBRA FIJA .....	100
3.3.5	EQUIPO PARA VIBRADO .....	102
3.3.6	HERRAMIENTA PARA PERFILADO Y TEXTURIZADO .....	103
3.3.7	EQUIPO PARA ASERRADO DE JUNTAS .....	105
3.4	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .....	107
3.4.1	CIMBRADO .....	107
3.4.2	COLOCACIÓN Y CONSOLIDACIÓN .....	108
3.4.3	ENRASADO .....	110
3.4.4	ACABADO SUPERFICIAL Ó TEXTURIZADO .....	112
3.4.5	CURADO .....	113
3.4.6	ASERRADO DE JUNTAS .....	115
3.4.7	SELLADO DE JUNTAS .....	120

#### CAPÍTULO 4 = PRECIOS UNITARIOS =

4.1	COSTOS .....	124
4.1.1	COSTOS DIRECTOS .....	125
4.1.2	COSTOS INDIRECTOS .....	130
4.1.3	FINANCIAMIENTO .....	131
4.1.4	UTILIDAD .....	131
4.2	BASES DE PAGO .....	132
4.2.1	PAGO POR METRO CUADRADO .....	132
4.2.2	PAGO POR METRO CÚBICO .....	133
4.3	EJEMPLOS DE PRECIO UNITARIO .....	134
4.3.1	PRECIO UNITARIO POR METRO CUADRADO .....	135
4.3.2	PRECIO UNITARIO POR METRO CÚBICO .....	140

#### CAPÍTULO 5 = CONTROL DE CALIDAD =

5.1	NORMAS Y PRUEBAS PARA CONCRETO .....	146
5.1.1	CONCRETO FRESCO .....	146
5.1.2	CONCRETO ENDURECIDO .....	158
5.2	EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS .....	163
5.2.1	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL .....	163
5.2.2	EVALUACIÓN SUPERFICIAL .....	165

CONCLUSIONES .....	169
--------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA .....	171
--------------------	-----

HEMEROGRAFÍA .....	172
--------------------	-----

## INTRODUCCIÓN

México es un país con una vasta extensión territorial, lo que a suscitado una creciente necesidad de contar con más y mejores caminos para comunicar entre si a las diferentes regiones del país e impulsar su desarrollo.

Nuestro país tiene aproximadamente 95,000 km de carreteras pavimentadas en condiciones de servicio que no son las óptimas, de hecho, estos pavimentos se encuentran en regulares y malas condiciones.

Un factor que a ha influido notablemente en este deterioro es que, la mayoría de nuestra infraestructura carretera fue diseñada y construida entre los años de 1925 y 1970 sin prever el importante desarrollo y crecimiento que han tenido los vehículos pesados de esos años a la fecha. Los caminos fueron diseñados para soportar cargas vehiculares de 6 a 8 toneladas, siendo que en la actualidad se tienen camiones cargados que alcanzan un peso de 60 toneladas, 7.5 veces la carga de diseño original. Tampoco fue considerado el crecimiento del tránsito diario de los camiones pesados, que en aquel entonces era de entre 500 y 1000 vehículos; actualmente se tienen valores de hasta 15,000 vehículos.

Resultados de estudios realizados en Estados Unidos por la AASHTO ( American Association of State Highway and Transportation Officials) y corroborados en México por Cemex Concretos, muestran que un camión semiremolque de 36 toneladas provoca un daño al pavimento equivalente a 9523 repeticiones de un automóvil.

Hasta el año de 1993 fue muy escasa la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México, esto básicamente por que nuestro país es un importante productor de petróleo y, por consiguiente, de asfalto. Durante muchos años el gobierno sustentó un importante subsidio al asfalto, lo que ayudó a que los pavimentos flexibles pudieran tener un costo inicial muy inferior a los de concreto hidráulico, resultando ser la opción más viable.

Ante la creciente demanda y deterioro de las carreteras del país, la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) se da a la tarea de buscar nuevas alternativas que permitan mantener los niveles de servicio durante periodos de tiempo mayores. Finalmente la SCT se inclinó por una solución con pavimentos de concreto hidráulico, que ante las circunstancias presentaba las mejores expectativas a un costo razonable. Así en 1993 la SCT construye la primera carretera de concreto hidráulico con especificaciones y tecnología de punta, marcando el inicio de la nueva generación de pavimentos de concreto hidráulico.

El objetivo principal de esta tesis no es quitar méritos a los pavimentos de concreto asfáltico, ni mucho menos, si no que se orienta a presentar los elementos básicos que intervienen dentro de los procedimientos y secuencias de construcción de un pavimento de concreto hidráulico; haciendo énfasis en el procedimiento de pavimentación con cimbra fija, como una alternativa para el fortalecimiento de la red carretera de nuestro país.

El énfasis por el procedimiento de cimbra fija se debe a que es un método, de entre otros que existen en la actualidad, muy redituable para pavimentos urbanos y suburbanos pero que no se habla mucho de él en comparación con el método de cimbra deslizable. Los principios y procedimientos constructivos son los mismos para ambos métodos, salvo con la diferencia que el de cimbra deslizable se realiza con un equipo muy sofisticado donde la mayoría de las actividades están automatizadas, en caso contrario, en el método de cimbra fija la mayoría de las actividades son manuales y con equipos de pavimentación más sencillos. La diferencia básica radica en la magnitud de la obra y el rendimiento esperado, con esa base se elige el método más adecuado.

Para describir los elementos que integran el procedimiento constructivo de un pavimento rígido se ha dividido este trabajo en cinco capítulos, las cuales se ilustran con la ayuda de algunas figuras y tablas para facilitar su comprensión.

Los dos primeros capítulos se enfocan al entorno de los pavimentos rígidos, como son sus antecedentes, características, bondades, inconvenientes, normatividad y procedimientos para la construcción de las diferentes partes que integran las terracerías.

Los tres capítulos restantes tratan a cerca de las principales características de la carpeta de concreto hidráulico. Como son, marco teórico, maquinaria, equipo y procedimiento constructivo, así como lo referente a la integración de los costos que intervienen en la pavimentación y las principales pruebas para el control de calidad de la carpeta.

El objeto de dedicar tres capítulos a la carpeta de concreto hidráulico radica en la importancia de esta, pues en un pavimento rígido la carpeta es el elemento estructural fundamental. Por otra parte, en la construcción de la carpeta se presentan muchos factores que pueden contribuir a su decremento estético y estructural por lo que es importante conocer y controlar dichos factores para reducir el riesgo de falla del pavimento.



# CAPÍTULO 1

= **GENERALIDADES** =

## 1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.

Pavimento, es la parte estructural de un camino comprendida entre la subrasante y la rasante; dicho de otra manera, es la capa o conjunto de capas de materiales seleccionados comprendida entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyo espesor depende fundamentalmente de la calidad del material que conforma las terracerías y de las solicitaciones o cargas impuestas.

Los principales requisitos que debe cubrir un pavimento son:

1. Ser resistentes ante la acción de las cargas impuestas por el tráfico, así como transmitir adecuadamente a la terracería los esfuerzos producidos por dichas solicitaciones.
2. Proporcionar una superficie de rodamiento uniforme.
3. Ser resistente y estable ante los agentes del intemperismo, presentando una superficie impermeable que no permita el paso del agua al interior del mismo pavimento y a las terracerías.
4. Tener una textura apropiada para resistir la abrasión de los neumáticos y que garantice la adherencia entre la rueda y el pavimento.
5. Presentar un color apropiado en la superficie que no ocasione reflejos a los conductores.
6. Ser durable y económico.

Redondeando lo anterior, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que permite el tránsito de los vehículos con comodidad, seguridad y economía.

Basándose en el tipo de materiales con que se construyan los pavimentos se clasifican en:

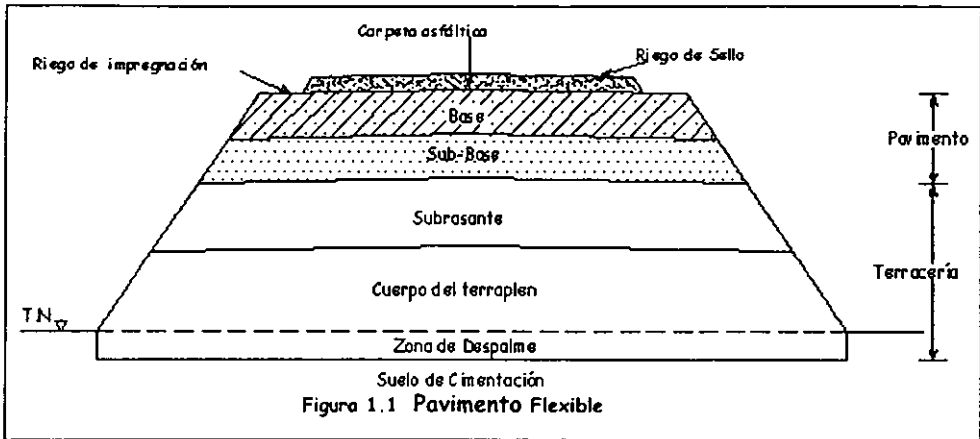
➤ PAVIMENTOS FLEXIBLES

➤ PAVIMENTOS RIGIDOS

### 1.1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Un Pavimento flexible se caracteriza por que la superficie de rodamiento se logra mediante una capa bituminosa relativamente delgada, de alto costo y calidad, pero entre ella y las terracerías se encuentra un sistema de varias capas de materiales cuya calidad va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos generados por el tránsito.

Este tipo de pavimento también es conocido como pavimento asfáltico, pues como se mencionó su última capa es de material asfáltico (bituminoso); según se aprecia en la figura 1.1 su estructura está constituida generalmente por tres capas de material seleccionado denominadas como Sub-base, Base y Carpeta Asfáltica.



De acuerdo con la figura anterior, la zona de despalme, el cuerpo del terraplén y la capa subrasante corresponden a las terracerías y las capas siguientes integran la estructura del pavimento. También se pueden apreciar tres conceptos que no habían sido referidos, riego de impregnación, riego de liga y riego de sello. A continuación se describen cada uno de ellos.

#### SUB-BASE

La sub-base es una capa generalmente de material granular económico que se construye sobre la subrasante como antecesora a la base del pavimento. Cuando la subrasante presenta condiciones óptimas y el espesor del pavimento resulta pequeño se puede omitir su uso.

La sub-base desarrolla las siguientes funciones:

- Reducir el costo del pavimento, cuando el espesor de este es de consideración permite reducir el espesor de la base, que comúnmente es construida con materiales de un alto costo.
- Proporcionar una transición entre los materiales de la subrasante, que comúnmente son de baja calidad y en ocasiones plásticos, con los de la base, generalmente granulares. La Sub-base, más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la subrasante.
- Absorber las deformaciones perjudiciales en la subrasante, como cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.
- Actuar como drén para desalojar el agua que se infiltre al pavimento e impedir la ascensión capilar de la terracería hacia la base.
- Proporcionar suficiente resistencia estructural para transmitir a la subrasante los esfuerzos que a su vez le transfiere la base sin sufrir deformaciones.

## **BASE**

La Base es una capa de material granular, en la mayoría de los casos, de mejor calidad que la sub-base, se construye directamente sobre la sub-base o sobre la subrasante, según sea el caso. También es llamada base hidráulica, puesto que por estar integrada por material granular permite el flujo del agua. Las funciones de esta capa son:

- Reducir el costo del pavimento, al igual que la sub-base, también tiene una función económica ya que reduce el espesor de la carpeta, mucho más costosa.
- Proporcionar un elemento resistente para soportar los esfuerzos que le son transmitidos por el tránsito a través la carpeta asfáltica sin presentar deformaciones de consideración. Y a su vez, Transmitir los esfuerzos adecuadamente a la sub-base, o en su caso a la subrasante, para lo cual la base deberá tener el espesor adecuado que absorba una parte considerable de los esfuerzos que recibe, para que las presiones transmitidas no sobrepasen la resistencia estructural de las capas inferiores.

- Permitir drenar el agua que se filtre por gravedad e impedir su ascensión por capilaridad sin afectar su resistencia estructural.
- Proporcionar una superficie uniforme para sustentar la carpeta.

### **RIEGO DE IMPREGNACIÓN**

Una vez que la base esté terminada, superficialmente seca y bien barrida, se aplica un riego de un producto asfáltico rebajado de fraguado medio de grado uno (FM-1) en cantidades de 1.5 litros/m<sup>2</sup>, conocido como riego de impregnación.

La aplicación de este riego proporciona una membrana asfáltica que penetra en los poros de la base y sirve como transición entre esta y la carpeta, garantizando el anclaje de la carpeta en la base.

### **RIEGO DE LIGA**

Posterior a la impregnación de la base y estando la superficie seca y barrida, se aplica un riego de liga con un producto asfáltico rebajado de fraguado rápido de grado tres (FR-3), en una proporción de 1 litro/m<sup>2</sup>, para que la carpeta quede ligada perfectamente a la base del pavimento y se evite algún deslizamiento de esta.

### **CARPETA ASFÁLTICA**

La carpeta es la última capa del pavimento apoyada sobre la base, está constituida por una mezcla de materiales pétreos de muy alta calidad y un producto asfáltico.

La función de la carpeta es la de proporcionar una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir el efecto de las cargas aplicadas, fricción de los neumáticos, fuerza centrífuga, impactos, etc., así como tener una textura y color adecuados, resistir los efectos del intemperismo y tener la flexibilidad, o elasticidad, necesaria para absorber las deformaciones sin agrietarse o deformarse permanentemente.

### 1.1.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Un pavimento rígido es una estructura en la que la capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal que se logra que los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores sean muy bajos, no permitiendo deformaciones en su superficie. Su estructura generalmente es conformada por dos capas, una losa de concreto hidráulico como elemento estructural apoyada sobre una capa de material seleccionado, que recibe el nombre de sub-base; cuando la subrasante presenta una buena calidad la losa de concreto se coloca directamente sobre ella omitiéndose el uso de la sub-base.

Como la carpeta de los pavimentos rígidos es de concreto hidráulico, se les ha llamado comúnmente "pavimentos de concreto". Existen cuatro tipos de ellos. Estos son:

- 1) Pavimento de Concreto Simple Con Juntas (con pasajuntas sólo en juntas de construcción).
- 2) Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (con pasajuntas en cada junta de contracción).
- 3) Pavimento de Concreto Reforzado Continuo (con refuerzo de acero, malla electrosoldada o varilla corrugada).
- 4) Pavimento de Concreto Presforzado (elementos presforzados).

Cada uno de estos pavimentos se desempeñará bien si es diseñado y construido correctamente. Dado a la amplitud de cada tipo de pavimento y a que el interés de este trabajo está en el primero, Pavimentos de Concreto Simple con juntas, el enfoque de este trabajo será con respecto a dicho tipo.

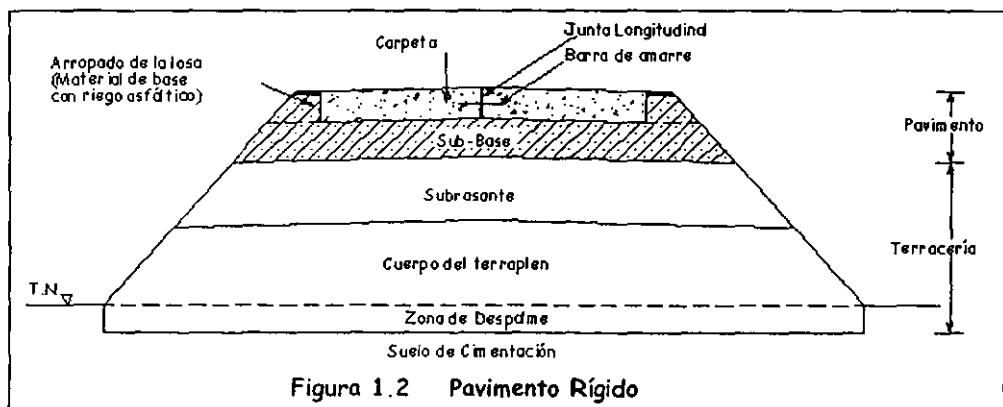


Figura 1.2 Pavimento Rígido

En la figura 1.2 se pueden apreciar los elementos que conforman la estructura del pavimento rígido.

## **SUBRASANTE**

Este es el suelo natural sobre el que se construye el pavimento, su función principal es darle un apoyo uniforme a este último. Para recibir la estructura de pavimento de concreto hidráulico, el terreno natural debe ser debidamente nivelado y compactado. En la preparación del terreno de cimentación y/o subrasante intervienen los siguientes aspectos:

1. Compactación de los suelos con valores de contenido de agua y de peso volumétrico tales, que garanticen un apoyo uniforme y estable para el pavimento.
2. Descarga lateral y mezclado de los suelos para lograr condiciones uniformes, en zonas donde se tengan cambios bruscos en sentido horizontal del tipo de suelo.
3. Usar nivelación selectiva de la rasante en zonas de terraplén a fin de colocar los mejores suelos cerca de la parte superior de la elevación final de la subrasante.
4. Mejorar los suelos de muy baja calidad por medio de tratamientos a base de cemento o cal, o en su defecto importar mejores suelos, de acuerdo a lo que resulte más económico.

## **SUB-BASE**

Esta capa de material de mejor calidad que la subrasante, pero inferior a la de una base, tiene un papel muy importante en las terracerías, pues es la encargada de dar soporte a la carpeta hidráulica.

Antes de describir a la sub-base es importante hacer notar por que se le llama así en este trabajo a la capa que va inmediatamente debajo de la losa de concreto y no base. Algunas personas optan por llamarla base, ya que éste término se usa para designar la primera capa por debajo de la carpeta de asfalto. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que los requisitos de calidad de los materiales para una sub-base no son tan estrictos

como los de la base, y puesto que bajo el concreto las presiones transmitidas a la capa por las cargas vehiculares son mucho más bajas que las transmitidas por el pavimento asfáltico.

El objeto principal de una sub-base, es el de evitar el efecto de bombeo. Su construcción puede ser con materiales granulares, materiales tratados con cemento, concreto pobre o materiales permeables de tamaño uniforme.

## **RIEGO DE IMPREGNACIÓN**

De igual forma que con los pavimentos flexibles, al estar terminada la base, superficialmente seca y bien barrida, se aplica un riego de un producto asfáltico rebajado de fraguado medio de grado uno (FM-1) en cantidades de 1.5 litros/m<sup>2</sup>.

La aplicación de este riego tiene como objetivo proporcionar protección a la base en casos de lluvia o de tránsito antes de construir la carpeta, de manera que no sufra un deterioro de consideración.

## **CARPETA**

Esta es una losa de concreto hidráulico que sirve como superficie de rodamiento, con la capacidad de resistir el efecto de las cargas aplicadas, presentando una textura y color adecuados, capas de resistir los efectos del intemperismo.

La carpeta actúa como elemento estructural, pues el concreto empleado para su construcción tiene un buen módulo de elasticidad que le imparte un alto grado de rigidez, además, posee una resistencia bastante elevada a la flexión. Esta rigidez permite a la carpeta de concreto distribuir las cargas sobre áreas mayores de la Subrasante. Por lo tanto las deflexiones son pequeñas y las presiones aplicadas a la subrasantes son muy bajas.



## 1.2 DESARROLLO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN MÉXICO.

### 1.2.1 SITUACIÓN HISTÓRICA.

#### A) Antecedentes

El desarrollo de México ha requerido transitar por diversas etapas en la construcción de la infraestructura de caminos. En 1891 se crea la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas y se comienza a aplicar tecnología en la construcción de caminos. A partir de 1910 con la aparición del automóvil fue necesario construir las primeras carreteras suburbanas conocidas como calzadas. Si bien hasta estas fechas el ferrocarril y el transporte fluvial en el sureste habían llenado las necesidades de comunicación de nuestro país, los tiempos exigían un grado mayor de integridad nacional. Fueron los caminos la respuesta a esta necesidad. Paso a paso fue tomando forma nuestra red de carreteras, fortaleciendo nuestro desarrollo con el apoyo a programas como la modernización agrícola de 1925 que dio pie a la construcción de los primeros ejes carreteros en 1928.

Ya en los años 30's, los técnicos mexicanos comenzaron a vislumbrar la posibilidad de construir carreteras de concreto hidráulico. De los años 30's a 50's la conformación de nuestra red se daba por hecho. Se habían construido 20,000 kilómetros de caminos, impulsándose así el desarrollo de numerosas poblaciones. El progreso de nuestro país siguió su avance. Los años 50's y 60's condujeron a numerosos cambios para las nuevas condiciones del tránsito y su demanda. En 1956 se crea la empresa Caminos y Puentes Federales de Ingresos, S.A. de C.V. con el objetivo de promover el desarrollo de las carreteras de peaje y poder financiar la construcción de nuevos caminos.

Es así como a fines de 1964 nuestra red contaba con 56,000 Kilómetros sin considerar los caminos vecinales y las terracerías.

Las Políticas de los años 70's se enfocaron en dar mayor atención a las poblaciones de pocos habitantes. La construcción de caminos se orientó principalmente a fortalecer los caminos rurales. En esta etapa se construyeron alrededor de 185,000 Kilómetros de estas vías. A mediados de esta década los problemas económicos surgidos a nivel mundial propician la caída de las inversiones y los gastos de conservación, situación que hasta la fecha tiene sus repercusiones.

La atención del gobierno, en efecto, se orientó marcadamente hacia los caminos vecinales, argumentando que su desarrollo estaba muy atrasado en relación con el que habían tenido las carreteras troncales. La expansión de las líneas de autobuses, que penetraban prácticamente a todos los sitios por donde había un camino, hacía que aún los campesinos más aislados usaran las carreteras o se interesaran en ellas.

El creciente tránsito de las carreteras creaba ya problemas de congestionamiento, especialmente cerca de las ciudades. Estas sufrían inconvenientes debido al paso por sus calles de vehículos cada vez más numerosos y pesados. Por lo tanto, se procedió a construir libramientos que permitieran rodear las áreas pobladas. También se procedió a ensanchar carreteras de mucho tránsito.

Resulta obvio que la infraestructura existente estaba entrando en un rápido proceso de obsolescencia. El fenómeno era atribuible al crecimiento económico y demográfico, y también al mayor número de vehículos en circulación, capaces, además, de transportar cargas más pesadas y de desplazarse con toda autonomía sobre distancias más largas y a mayores velocidades.

Un fenómeno importante de esa época fue la casi total extinción del turismo extranjero por carretera, motivada por varios factores entre los que cabe contar el predominio de los viajes en paquete por vía aérea, la concentración de los turistas en los sitios de playa, y el propio rezago de la red carretera, a lo que se añadían graves problemas de seguridad. La Secretaría de Turismo había establecido en 1960, sobre las principales carreteras, un servicio de emergencia muy eficiente y apreciado, conocido como los "Ángeles Verdes", que subsiste hasta la fecha.

En 1982 ocurrió una nueva reorganización administrativa. La S.O.P. había sido gradualmente orientada hacia cuestiones de desarrollo urbano, de modo que se le redefinió hacia esa área y se trasladó lo relativo a la construcción y mantenimiento de las carreteras a la S.C.T. Sin embargo, los beneficios que esta medida debió aportar no se hicieron ver sino hasta algún tiempo después, pues la crisis económica que azotó por entonces al país obligó a suspender un buen número de las obras planeadas.

El desarrollo de la red carretera ha cobrado renovado ímpetu aproximadamente desde 1985. La modernización de la red carretera se inició con plena conciencia de que se estaba viviendo un rezago que se traducía en la creciente ineficiencia del transporte por carretera.

Así pues, la S.C.T. procedió a adaptar carreteras y puentes para un tránsito más rápido e intenso, pero ya no ensanchándolas, sino duplicándolas. A lo largo de muchas rutas se puede apreciar cómo se construyó o se está construyendo una nueva carretera paralela a la existente, separada de ella, de ser posible, por una cuneta, de modo que la circulación se hace por los dos carriles de la carretera antigua (mejorada) en un sentido y por los dos de la nueva en el opuesto. Pueden apreciarse estas obras en tramo de carreteras muy transitadas, como entre Querétaro y San Luis de la Paz, Monterrey y Saltillo, Chihuahua y Ciudad



Cauhtémoc, Nogales y Ciudad Obregón, Cárdenas y Villahermosa, etc., y también, desde luego, en los caminos de cuota de México a Pachuca, Querétaro a Irapuato, y Puebla a Acatzingo, que con ello han podido elevarse al rango de autopistas.

Hay algunas rutas donde se ha preferido construir carreteras totalmente nuevas, con diseño e ingeniería de gran sofisticación. Así, México cuenta con flamantes carreteras de primer orden. Pueden señalarse entre ellas las de México a Lerma, Puebla a Atlixco, Atacomulco a Maravatío, Cosoleacaque a Nuevo Teapa, Guadalajara a Manzanillo, Culiacán a Guamuchil, y Monterrey a Nuevo Laredo. La mayoría de ellas son verdaderas autopistas, de cuatro o más carriles y acceso controlado.

A pesar de esto, hasta 1993 las carreteras de concreto eran relativamente escasas, esto debido básicamente que el país es un productor de petróleo y por tanto de asfalto. Es importante recordar que anteriormente existía un subsidio en el precio del asfalto, lo que conllevaba a pavimentos de asfalto de costo muy inferior a los de concreto. Los pavimentos de asfalto parecían ser la alternativa más adecuada.

Ante el deterioro de la red carretera la S.C.T. inició la búsqueda de nuevas alternativas que soportaran adecuadamente las solicitudes de carga y volumen y que su vida útil fuera mayor. La S.C.T. se orientó a una solución con pavimentos de concreto hidráulico pues presentaban un costo razonable, con una capacidad estructural adecuada y un periodo de vida costeable de acuerdo con la inversión. Así en 1993 la S.C.T. decide la construcción de un proyecto piloto afin de corroborar lo anterior, siendo este proyecto el libramiento Ticumán.

De los resultados obtenidos del monitoreo de ese proyecto se decidió continuar con la especificación y construcción de otros proyectos de concreto hidráulico.

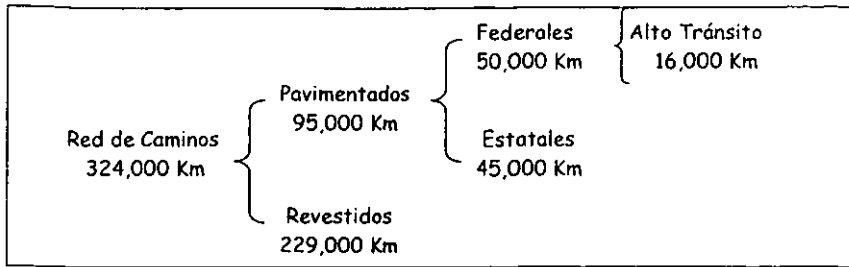
### **B) Breve Historia de los pavimentos de concreto en el mundo**

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1865            | Uso de Concreto con bajo contenido de cemento como base para la superficies de rodamiento de ladrillo y de bloques de piedra.                   |
| 1905            | Primer pavimento de concreto hidráulico en Ohio, Estados Unidos.  |
| 1920's          | Uso de los pavimentos de concreto hidráulico en la expansión del sistema carretero de los Estados Unidos. Su uso se difunde a Europa.           |
| 1940's          | Uso de pavimentos de concreto hidráulico en la construcción de aeropuertos en los Estados Unidos.   |
| 1960-<br>1970's | Uso intensivo de los pavimentos de concreto hidráulico en la expansión del sistema carretero interestatal y aeroportuario en los Estados Unidos |
| 1990's          | Era de la sobre carpeta de concreto hidráulico " Whitetopping ".  |

### **C) Presente y futuro**

La política en la construcción de la red de caminos en las dos últimas décadas ha ido de la mano con el desarrollo de nuestro país. Pasamos de fortalecer al México agrícola a la integración nacional y transitamos hacia la industrialización. Ahora el paso claro es el que se pretende y que seguirá a la senda del progreso de la formación y mantenimiento de nuestra red de carreteras, afrontando los retos de la modernidad, asumiendo la responsabilidad de participar en el nuevo orden económico mundial. Para ello, uno de los aspectos que se requiere fortalecer es el de la infraestructura carretera, columna vertebral de nuestra economía.

Es muy importante tener en cuenta que nuestro país tiene una extensa red de caminos que resulta insuficiente para el desarrollo de la actividad económica. Esta red está integrada aproximadamente por 324,000 km, distribuidos de acuerdo con el siguiente esquema.



La insuficiencia de la infraestructura carretera se puede atribuir a dos causas principales,

- Cantidad de los caminos
- Estado físico de los caminos existentes

Las dos causas anteriores obedecen a que en los diseños anteriores de las vialidades no se contempló el continuo crecimiento del tránsito los vehículos pesados y de los automóviles, que de la época de los setentas a la fecha creció de un TDPA de 1000 autos a 15000, así como el incremento en el peso de los camiones de carga, que varió de 8 Ton hasta camiones de 60 Ton.

Por tanto, el reto es la ampliación de la red carretera del país, así como la rehabilitación de las vialidades existentes para alcanzar una infraestructura carretera que permita un alto grado de desarrollo de la economía de nuestro país, presentando soluciones que económicamente sean rentables y cumplan con todos los requisitos de calidad.

## 1.2.2 PROYECTOS REALIZADOS EN MÉXICO

En nuestro país el concreto hidráulico no es un material desconocido. Lo hemos usado para construir desde los grandes complejos hidroeléctricos hasta la construcción de la vivienda. Su uso en la construcción de calles, aeropistas y carreteras, tampoco es desconocido para el técnico mexicano. Aunque en este último renglón no se ha tenido un desarrollo sostenido como en otros países.

Las especificaciones de la Secretarías de Comunicaciones y Transportes siempre han contemplado el uso de los concretos hidráulicos en la construcción de las carreteras, elaborándose los manuales correspondientes para su uso y conservación.

En el pasado se han construido caminos como la Antigua Carretera al Desierto de los Leones en 1920, transitable hasta la fecha, La Avenida Paseo de la Reforma en la Cd. de México en donde se utilizaron 28,500 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico con un costo de un millón y medio de pesos, o sea, un 15% del costo total de la obra. También se ha aplicado esta tecnología en aeropistas como la de los aeropuertos de Guadalajara, Puerto Vallarta, Acapulco, Villahermosa, Monterrey y Mérida entre otras.

Si bien, se tienen antecedentes de caminos de concreto, su introducción formal se remonta al año de 1993 cuando se construye la primer carretera de pavimento rígido con tecnología de punta.

A continuación se mencionan los proyectos más representativos construidos en México desde 1993 hasta el año 2000.

### LIBRAMIENTO TICUMÁN.

La S.C.T. dentro de su programa de nuevas aplicaciones tecnológicas, aprobó la ejecución de un Proyecto Piloto con el cual se pudiera valorizar en realidad el uso del concreto hidráulico en la rehabilitación de caminos. Para este fin se designó la rehabilitación del pavimento del libramiento Ticumán en el Estado de Morelos, mediante la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico. Procedimiento conocido como "Whitetopping".

Con una longitud de 8.35 km el libramiento Ticumán se encuentra localizado en el Estado de Morelos. Su importancia estriba en que desde su construcción ha permitido el ahorro de tiempos de traslado en esta importante zona cañera, fortaleciendo la infraestructura turística de la zona. Este libramiento ha sido transitado tanto por automóviles como por vehículos de gran peso.

Se llevaron a cabo los estudios necesarios para determinar la estrategia de diseño de losa de concreto hidráulico; los cuales se involucraron desde el análisis de tránsito, las condiciones actuales del camino, la calidad de materiales y el comportamiento esperado a futuro.

El Procedimiento de rehabilitación empleado consistió en la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico utilizando la tecnología de aplicación del mismo con equipos automatizados de cimbra deslizante.

Para efectos comparativos de precio entre concreto hidráulico y asfalto y no considerando los trabajos complementarios, se analizaron los costos de ambas alternativas a precios del tabulador en 1994 en la S.C.T. Obteniéndose un precio total del proyecto para asfalto de \$3'227,191 y para concreto hidráulico \$ 3'643,001, o sea, un costo kilómetro de \$ 379,670 para asfalto y de \$428,588 para el concreto hidráulico, con un diferencial del 12.7%.

Este diferencial si se toma en consideración los tiempos de construcción en función a los tiempos de operación (tiempos perdidos por los usuarios en la ejecución de los trabajos), se tendrá un resultado muy superior al 50% favorable al concreto hidráulico. El tiempo de ejecución de los trabajos de pavimentación con concreto hidráulico fue de 11 días hábiles.

En los 11 días de trabajo se produjeron 12,650 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico con una producción mínima diaria de 903 m<sup>3</sup> con longitud de 552 metros lineales y máxima de 1,801 m<sup>3</sup> con una longitud de 1,114 metros lineales. El espesor de las losas de concreto fluctuó entre 18.5 y 27 cm con un promedio de 23 cm.

Los resultados de laboratorio obtenidos del proyecto son los siguientes:

Resistencia a la flexión promedio	: 47.64 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión promedio	: 309.68 kg/cm <sup>2</sup>
Prueba de tensión directa ( Brasileña) promedio	: 30.33 kg/cm <sup>2</sup>
Modulo elástico del concreto	: 240,800 kg/cm <sup>2</sup>
Revenimiento promedio	: 5 cm.

Estos resultados se encuentran acordes a los contemplados en el diseño.

Dada la importancia que revisten los factores considerados en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, el proyecto Ticumán quedó como un proyecto piloto de evaluación permanente. Se efectuaron estudios periódicos de evaluación del comportamiento de las juntas, estudio de Indices de Servicios y estudios de capacidad estructural con "Dynaflect ". Los resultados obtenidos a un año cinco meses de entrar en operación este camino, demostraron el buen comportamiento del concreto hidráulico y su costo de mantenimiento, aún cuando el tránsito pesado se incremento notablemente. Por otra parte, el resultado de esos estudios ha ido dando pautas para las consideraciones de diseño de pavimentos de concreto hidráulico en nuestro país.

### TRAMO TIHUATLÁN-POZA RICA

El tramo de 2 carriles tiene una longitud de 25 Km. con un espesor de losa de 25 cm, con un costo de inversión de \$ 47'875,155. El inicio de la construcción de este proyecto fue en Junio de 1994, con una entrada en operación en Noviembre de 1994. El tipo de construcción fue realizado en base a una carpeta nueva lograda con Cimbra deslizable de trenes de lanzamiento.

### TRAMO TUHUATLÁN - TUXPAN

El tramo tiene una longitud de 32 Km de 4 carriles con un espesor de losa de 25 cm.. El inicio de la construcción fué en Junio de 1994, con una entrada en operación en Noviembre de 1994. El tipo de construcción fué una Sobre-Carpeta "Whitetopping" que fue lograda con cimbra deslizando con trenes de lanzamiento.

### TRAMO CÁRDENAS- AGUA DULCE

Este tramo fué realizado en el Estado de Tabasco con una longitud de 84 Kilómetros en dos cuerpos.

### TRAMO GUADALAJARA-TEPÍC

Tramos realizado en parte de la Nueva carretera ( Plan de barrancas ) que parte desde el Guadalajara hacia el Norte del País, dicho tramo comprende 40 Km. en dos cuerpos de dicha autopista.

### TRAMO YAUTEPEC-JOJUTLA

Tramo realizado en el Estado de Morelos con una rehabilitación del tramo concebido con una sobre carpeta " Whitetopping " el cual tiene una longitud de 32 Kilómetros.

### TRAMO SAN LUIS DE LA PAZ - Sto.DOMINGO.

Tramo realizado entre los estados de Querétaro y San Luis, con un kilometraje aproximado de 55 Km.

### TRAMO AUTOPISTA QUERETARO - SAN LUIS POTOSÍ.

Tramo realizado entre los estados de Querétaro y San Luis.

### TRAMO AUTOPISTA QUERETARO - PALMILLAS.

Tramo realizado entre los estados de Querétaro y San Luis, con un kilometraje aproximado de 55 Km.



TRAMO EN VIALIDADES DE LA PLANTA DE HUICHAPA

Tramo realizado en el estado de Hidalgo con una longitud de 3.5 Km.

TRAMO EN VIALIDADES DEL FRACCIONAMIENTO " LA PUNTA "EN BOSQUES DE LAS LOMAS.

Tramo realizado en el Distrito Federal con una longitud aproximada de 3.5 Km.

TRAMO DE VIALIDADES DE LA PLANTA DE TEPEACA.

Tramo realizado en el estado de Puebla con una longitud aproximada de 4 Km.

TRAMO REALIZADO EN VIALIDADES DE Cd. VICTORIA

Tramo realizado en el estado de Tamaulipas con una longitud de 4.5 Km.

TRAMO JIUTEPEC-ZAPATA

Tramo realizado en el estado de Morelos con una longitud de 4.5 Km.

TRAMO REALIZADO EN VIALIDADES DE LA ZONA URBANA DE TIJUANA.

Tramo realizado en vialidades urbanas en la ciudad de Tijuana, Baja California Norte.

TRAMO DE ATLAPEZCO-TIANGUISTENGO

Tramo realizado en el estado de Hidalgo con una longitud de 10 Km.

TRAMO LATERALES DEL PASEO TOLLOCAN.

Tramo realizado en el Estado de México.

TRAMO LA CHINANTLA- LAGUNA, VER.

Camino estatal La Chinantla-Casablanca, tramo La Chinantla-La Laguna, ubicado en el municipio de Uxpanapa Veracruz. Tramo de 10 Km. Construido en el mes de Agosto de 1999 mediante cimbra fija y rodillo pavimentador. La carretera consta de dos carriles con un ancho de corona de 7m y un espesor de losa de 18 centímetros. El volumen de concreto empleado fue de 10300 m<sup>3</sup>.

TRAMOS MENORES DIVERSOS

Tramos realizados en diferentes carreteras estatales y vialidades urbanas de los estados de Veracruz, Morelos, Nayarit, Yucatán y Estado de México.

### 1.3 ESTUDIO DEL USO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

#### 1.3.1 VENTAJAS

La Carpeta y la Sobrecarpeta de concreto hidráulico proporcionarán ventajas a largo plazo para los organismos encargados de mantenimiento de carreteras y aeropuertos, así como a los usuarios. La superficie que proporciona el concreto hidráulico reduce drásticamente el tiempo y los retrasos, que generalmente acompañan al mantenimiento de la carpeta asfáltica. Las roderas, dislocamientos, agrietamientos tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento constante de selladores de grietas y de recubrimiento superficiales. Una superficie de concreto hidráulico requiere mucho menos tiempo de mantenimiento y dinero, debido que este es más resistente y durable. Las carpetas de concreto hidráulico son particularmente efectivas, en proyectos donde las restricciones en el presupuesto anual y altos niveles de tráfico, hacen que las interrupciones frecuentes de la circulación y los costos de mantenimiento sean intolerables, esto sin contar las horas-hombre que se desperdician en los problemas originados por las situaciones antes mencionadas.

Uno de los problemas que contrae el mal estado de una superficie con problemas de deterioro es el llamado Hidroplaneo, o Acuaplaneo, que se manifiesta en caminos con roderas, sobre todo en rutas interestatales y primarias. En un estudio denominado "Consideraciones de seguridad en la formación de roderas y de ondulaciones en superficies de rodamiento de asfalto", los parámetros medidos indican que las medidas de distancias de frenado para superficies de concreto hidráulico son mucho menores que las de asfalto sobre todo cuando el asfalto está con roderas y húmedo.

Las cargas pesadas no forman roderas ni dislocamientos en el concreto el cual conserva una alta resistencia antiderrapante.

Por otra parte, los pavimentos de concreto hidráulico pueden alcanzar altos índices de servicio y conservarlos por más tiempo que los pavimentos asfálticos, gracias a su grado de seguridad, adicionalmente, siguiendo un procedimiento constructivo adecuado, se puede tener un pavimento con una superficie altamente antiderrapante. La utilización de pasajuntas permite mantener estos índices de servicio, evitando la formación de escalonamientos en las losas, especialmente en los tramos donde el tráfico es más pesado.

Por la rigidez de las losas de concreto, los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores se distribuyen uniformemente, a diferencia de los pavimentos flexibles, donde la transmisión

de carga tiende a ser puntual. La distribución uniforme de esfuerzos permite que los esfuerzos máximos transmitidos sean menores en magnitud, contribuyendo a la conservación del suelo de soporte.

Redondeando todo lo anterior, los pavimentos rígidos ofrecen como ventajas: Durabilidad, bajo costo de mantenimiento, seguridad, altos índices de servicio, y mejor distribución de esfuerzos bajo las losas.

### 1.3.2 LIMITANTES

Para el desarrollo de todo el proceso de las partes que componen este tipo de pavimentos, se puede encontrar como en todo limitantes, estas pueden ser económicas, de diseño, de proceso constructivo, de tránsito, etc., y en cualquier factor externo que intervenga en cualquier parte del mismo.

En el ámbito económico, el parámetro más común donde se acota el problema es la inversión inicial del pavimento de concreto hidráulico, que es en comparación con el pavimento asfáltico relativamente alta. Consecuentemente se tienen otros factores como el costo de Mantenimiento de la carretera, costos del usuario de la carretera, valor presente, costo anual equivalente, tasa de descuento, periodo de análisis, valor de recuperación, costo de rehabilitación y otros términos que influyen en el costo final del pavimento.

Uno de los factores que interactúan en la construcción de los pavimentos de concreto hidráulico y que son importantes en el desarrollo del trabajo de las losas de concreto, son el sistema de juntas cuya finalidad es conservar la capacidad estructural del concreto y la calidad de su rodabilidad con bajos costos de mantenimiento. Las juntas controlan el agrietamiento y proporcionan un sello confinado que minimiza la infiltración de agua y de partículas incompresibles hacia el pavimento para evitar el despostillamiento, el efecto de bombeo y la falla.

Las etapas de diseño de las juntas y de construcción son críticas para lograr un buen comportamiento carretero de concreto. Entre los aspectos más importantes que deben de tomarse en cuenta durante el diseño y la construcción de las juntas están algunos puntos que no se deben de perder de vista:

- Las juntas de construcción son las más comunes y las más importantes en lo que se refiere para lograr un buen comportamiento. Los tres factores más importantes que afectan a las juntas transversales de construcción son el espaciamiento, la transferencia de cargas, y las necesidades de sellado de las juntas.
- También es crítico el proceso constructivo de las juntas transversales de contracción. Es importante la colocación de pasajuntas y la preparación de las mismas. Se han logrado excelentes tolerancias de colocación, con soportes para pasajuntas y con equipo de inserción de las mismas.
- El aserrado debe programarse con cuidado para evitar el agrietamiento aleatorio.
- Las condiciones climáticas extremas implican una mayor atención a los detalles y afectaciones en forma significativa el inicio de las operaciones de aserrado.
- La elección de un agregado que tenga propiedades de mecánicas buenas ayudara a un aserrado con una transmisión gradual buena.
- En puentes, túneles, muros, u otros tipos de estructuras fijas se tendrán que realizar trabajos de aislamiento.

Redondeando lo anterior, un pavimento rígido debe contar con un control de calidad muy estricto en la construcción de juntas, ya que de lo contrario puede sufrir agrietamientos, deformaciones, desplazamientos, etc. que para su reparación requieran de una alta inversión no contemplada en el costo inicial

El tiempo de apertura al tráfico es un factor muy determinante para algunas dependencias gubernamentales. El pavimento flexible puede ser transitado inmediatamente después de ser colocado, en contraparte el pavimento de concreto hidráulico requiere para ser abierto al tráfico alcanzar entre el 70 y el 75 % de su resistencia a la flexión, esto es aproximadamente 7 días en condiciones normales y 3 días con el uso de aditivos acelerantes de la resistencia (método conocido como Fast Track).

El Control de tráfico en zonas de Rehabilitación o de Reconstrucción del pavimento es otro aspecto que es latente en cualquier obra de pavimentación en donde la forma que se desvía el tráfico depende de las condiciones del sitio y debe basarse en un análisis de costos.

De una o de otra forma las soluciones son muy variadas y como ejemplo de algunas alternativas, en donde los elementos pueden ser los mismos solo que varían en su uso tenemos lo siguiente. Las carreteras primarias e interestatales con tres carriles y acotamientos en cada dirección, el tráfico puede generalmente desviarse alrededor de la zona de trabajo sin desvíos transversales. El tráfico se desvía sobre un acotamiento y sobre un carril adyacente, mientras se termina el trabajo sobre los otros carriles y el acotamiento opuesto. La separación de los trabajadores del tráfico se logra por medio de conos portátiles. Esta opción para proteger la zona de trabajo se deberá comparar con algunas otras alternativas, como pueden ser la colocación de desvíos transversales y la construcción de la sobrecarpeta en todo su ancho.



En el caso de carreteras divididas de cuatro carriles, el tráfico se puede desviar hacia los carriles contrarios. Será

necesario construir cuando menos dos desviaciones transversales, una en cada extremo del proyecto. Las desviaciones transversales deberán colocarse lo suficientemente alejadas del final de la zona de trabajo, para que el contratista enfile y programe el equipo durante la construcción. El tráfico circula de dos carriles en ambos sentidos. La separación del tráfico en las áreas cubiertas por desvíos transversales, debe realizarse por medio de una barrera separadora central de concreto a lo largo de la longitud de los dos carriles en operación y en ambas direcciones, cuando la separación de una barrera no sea necesaria, se pueden usar conos, barriles o postes de guía y con esto se puede seguir satisfaciendo los requisitos fundamentales de separación. Los estudios han demostrado que los postes tubulares de guía constituyen la solución mas económica en términos de costo y espacio.

En áreas urbanas, se deberá evaluar la posibilidad de pavimentar durante la noche y los fines de semana con el sistema de apertura rápida. Con estos métodos se minimiza los problemas relacionados con la secuencia constructiva y con la desviación del tráfico. La construcción de pavimentos con el sistema de apertura rápida " FAST TRACK " es un método probado para minimizar los retrasos en el tráfico y los costos al usuario.

## CAPÍTULO 2

# = CONSTRUCCIÓN DE TERRACERÍAS =

Todo proyecto que ha sido bien elaborado, merece, y debe ser bien construido. Por tanto, se expondrán algunos procesos constructivos, basados en la normatividad existente, que forman parte básica de la elaboración de una buena pavimentación dado que la terracería es vital para que la carpeta pueda ser efectiva.

Las especificaciones que a continuación se presentan fueron tomadas de las Normas para Construcción e Instalaciones de carreteras y autopistas, libro 3, terracerías. Publicadas por la SCT.

## 2.1 DESMONTE.

### 2.1.1 PROCEDIMIENTOS.

Antes de los procesos propios de la pavimentación se tienen dos trabajos preliminares denominados, *Desmonte* y *Despalme*. Desmonte es el despeje de la vegetación existente en el derecho de vía y en las áreas destinadas a los bancos. El despalme es el desalojo del material vegetal de la zona de trabajo, a fin de eliminar materia orgánica y rellenos artificiales a profundidades no mayores de 30 cm, para evitar futuras deformaciones de las capas superficiales y ligar adecuadamente el cuerpo del pavimento al terreno natural.

El despalme juntamente con el desmonte tienen como objeto:

- Eliminar suelos inadecuados para la construcción
- Permitir una liga adecuada entre el terreno de cimentación y los terraplenes
- Eliminar materia orgánica
- Despejar la zona de trabajo
- Eliminar los materiales no deseables (hierbas, arbustos, árboles, etc.)
- Aumentar la visibilidad en curvas horizontales
- Evitar accidentes a causa de la caída posterior de árboles o ramas en la carretera
- Evitar deformaciones en el pavimento, provocadas por troncos y raíces

La ejecución del desmonte comprende las siguientes actividades.

- a) Tala.- Es básicamente cortar los arboles y arbustos.
- b) Raza.- Consiste en quitar la maleza, hierbas, zacate y residuos de las siembras.

- c) **Desenraice.**- Sacar los troncos o tacones con raíces o cortando estas.
- d) **Limpia y quema.**- Consiste en retirar el producto del desmonte al lugar que indique el proyecto, estibarlo y quemar lo no utilizable.



**Figura 2.1**  
**Tractor realizando**  
**trabajos de desmonte**

## 2.1.2 NORMAS

### **Clasificación.**

Las normas consideran una clasificación del terreno en función de la flora y la fisiología del lugar. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), proporciona los siguientes tipos de vegetación:

1. Manglar.- Está constituida predominantemente por manglares y demás especies de raíces aéreas, típicas de esteros y pantanos de los climas cálidos.
2. Selva o Bosque.- La vegetación tipo selva es la constituida predominantemente por árboles típicos de zonas bajas y cálidas (palmeras, amates, ceibas, caobas, mangos y cedros). La vegetación tipo Bosque se integra con árboles típicos de las zonas altas de clima templado o frío (pinos, oyameles, abedules, encinos y eucaliptos).
3. Monte de regiones áridas o semiáridas.- La Vegetación de monte de regiones áridas o semiáridas está constituida predominantemente por árboles de poca altura y diámetro reducido y por arbustos (mezquites, pirules, huizaches y espinos).
4. Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o Pastizales.- la Vegetación está constituida predominantemente por cactáceas, vegetación de sembradío o zacate respectivamente.



**Tipos de desmonte.**

Las operaciones para desmonte podrán ser a mano o a máquina.

- a) Desmonte a mano.- Se utiliza para quitar arbustos, para desmontar terrenos de gran superficie, tan pantanosos o abruptos que representan un problema al acceso de las máquinas, resultando ser más económico. Es común su uso para abrir paso a la maquinaria.
- b) Desmonte con máquina.- En este tipo de desmonte puede ser en algunas ocasiones más caro, pero resulta más rápido debido al alto rendimiento que se consigue con los equipos, pero también tenemos algunas variantes que pueden incrementar el rendimiento de las máquinas, esto es combinando cuadrillas de desmonte a mano y maquinaria.

**Operación.**

Las Operación de tala, limpia y quema se ejecutan en toda la parte donde limite el proyecto que generalmente es en el derecho de vía e igualmente se ejecutarán estos trabajos en las zonas a 1 metro de los cerros por fuera en los canales y contracuneta, así también en las zonas que representan los prestamos o banco.

Las operaciones de desenraice estarán definidas por las superficies limitadas por líneas trazadas a 1 metro de los cerros, esto es para cortes y terraplenes (con espesor menor de 1 metro), canales, contracunetas, bancos, prestamos y otras zonas mencionadas por el proyectista.

En el asunto de todo el material aprovechable proveniente del desmonte deberá ser estibado en los sitios que indique el proyectista; el material que no se puede aprovechar se deberá quemar con toda precaución de no provocar un incendio de grandes dimensiones, pero si en el lugar no se puede realizar la quema del material el proyectista designará el lugar de almacenamiento, para después quemarlo ya que se tenga un buen lugar de quema.

El desmonte deberá estar terminado cuando menos a 1 kilómetro adelante del frente de ataque o de trabajo, es decir, justo donde comiencen las terracerías. Dicho acuerdo se ligará con el programa de obra.

El proyectista deberá indicar los árboles o arbustos que deberán respetarse. Únicamente se cortarán las ramas que queden a menos de 8 metros sobre la corona de la carretera, procurando conservar la buena simetría y asimetría del árbol.

Cuando el material de desmonte sea aprovechable se le designará al dueño del predio donado.

### **Medición.**

El desmonte se medirá tomando como unidad la hectárea con densidad de 100%. El resultado se tomará a la décima.

La superficie a desmontar se dividirá en tramos de vegetación semejante según los tipos de vegetación antes mencionados.

Algunos tramos de vegetación antes mencionados que son selva y monte de regiones áridas se tomará el volumen de estas por densidad sensiblemente uniforme.

Los tramos con vegetación con características de Manglar y montes con características desérticas la densidad para estos se considerará del cien por ciento (100%), independientemente de lo poblado de esos dos tipos de vegetación, en este caso no se hará la división de los tramos.

La densidad de vegetación esta designada por cada sub-tramo, relacionando la sección neta total de madera de los troncos de los arboles y arbustos por hectáreas, con densidad máxima del cien por ciento (100%), correspondiente a cien metros cuadrados de sección de madera por hectárea. La sección neta de cada árbol se determinará a 1.50 metros y la de arbustos a 60 cm, de la altura sobre el nivel del suelo.

Cuando se haga a mano el corte de los arboles deberá quedar a una altura máxima de 75 cm y el de los arbustos será de 40 cm, excepto en las superficies en que deba efectuarse el desenraice. Las ramas situadas fuera de las áreas del desmonte que queden sobre la corona deberán de ser cortadas según el proyecto.

Cuando la quema de los no aprovechado del desmonte no se realiza sólo se tomará el 90 % del desmonte, hasta que se lleve tal proceso se tomará el 100% del desmonte.

## 2.2 TERRACERÍAS.

### 2.2.1 SECCIONES

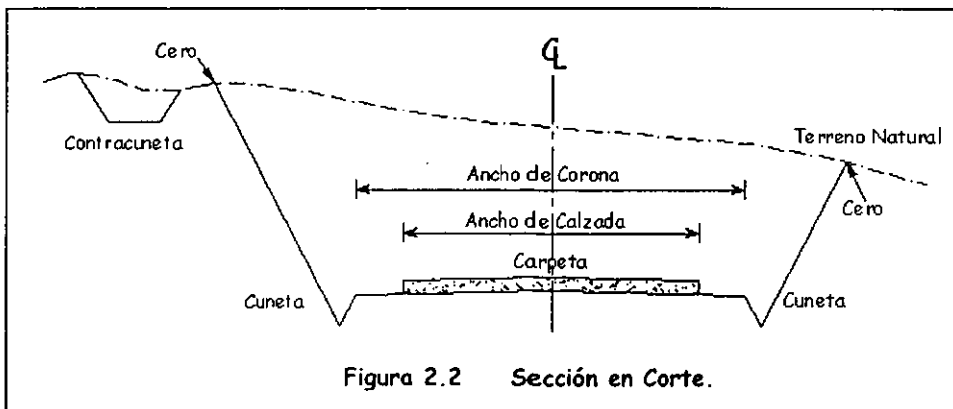
Las terracerías constituyen la estructura del camino que se conforma del material producto de cortes, bancos y terraplenes.

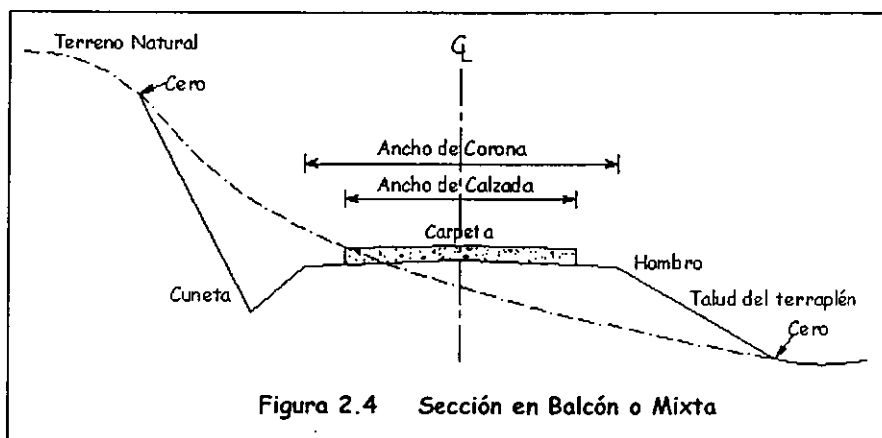
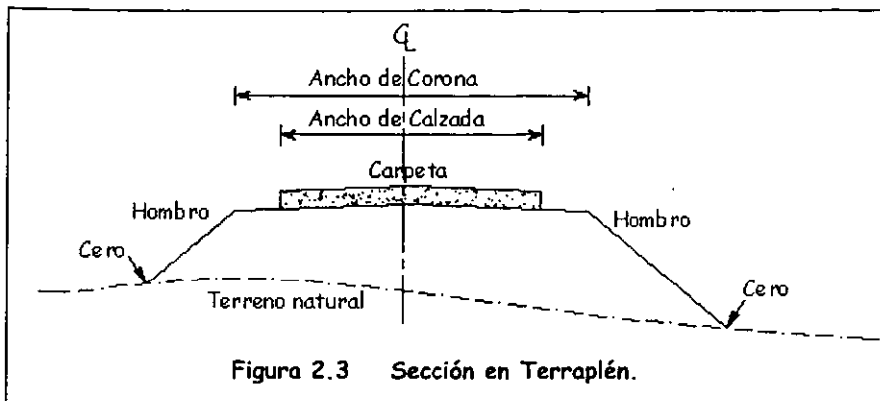
Secciones típicas de una carretera:

- Sección en Corte
- Sección en Terraplén
- Sección en Balcón o Mixta

Estas secciones están formadas básicamente por las siguientes partes:

- Base del terreno natural
- Cuerpo del terraplén (si este fuera terraplén)
- Subrasante
- Sub-base
- Base





Para la construcción de las secciones mostradas en las figuras anteriores se realizan dos actividades básicas, cortes y rellenos. La sección en corte se da cuando el nivel de proyecto está debajo del terreno natural, para lo que se tienen que realizar trabajos de corte (ó excavación). Los terraplenes son rellenos para alcanzar un nivel de proyecto arriba del de terreno natural; si el material para generar los terraplenes es producto de los cortes se dice que las terracerías son compensadas, pero si en el material de corte no se usa se llama desperdicio, en el caso de que el material del corte no sea suficiente se tendrá que extraer material de algún préstamo lateral (de 10 a 100 metros desde el centro de línea); o en su defecto de algún banco de material (después de los 100 metros del centro de línea). La sección en balcón es la combinación de los dos tipos anteriores.

## 2.2.2 CORTES

### NORMAS PARA MATERIALES DE CORTE

#### Clasificación.

Los materiales de corte, de acuerdo con la dificultad que presentan para su excavación y carga, se clasifican de la siguiente manera:

- Material tipo A. Este tipo es un material suave (blando o suelto), que puede ser eficientemente excavado con motoescropa de 90 a 110 caballos de potencia con auxilio de arado o tractores empujadores, también se consideran de este tipo los suelos de poco o nada cementados, con partículas de un máximo de 7.6 centímetros. Algunos materiales típicos de estas características son los Suelos Agrícolas, Suelos Limosos y Suelos Arenosos.
- Material tipo B. Es el que por su dificultad de extracción y carga sólo se puede extraer con tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable, con potencia de entre los 140 y los 160 HP, sin uso de arado o explosivos, también se consideran como material tipo B las piedras sueltas de 75 centímetros y mayores de 7.6 centímetros, los materiales típicos del tipo B son rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.
- Material tipo C. Este material sólo puede ser excavado mediante el uso de explosivos, también se consideran materiales tipo C aquellas piedras mayores de 75 centímetros, dentro de este tipo se encuentran las rocas basálticas, areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granito y andesitas sanas.

A los materiales que presenten características que se encuentren entre dos tipos de material en cuanto su dificultad de extracción y carga, se les denominará intermedios, asignando porcentajes de Materiales A y B, ó B y C respectivamente, en proporción con las características medias del material de que se trate.

Para clasificar los materiales se deberá tomar en cuenta:

- a) Para la clasificación del material se tomará en cuenta la dificultad para su extracción y carga de acuerdo con los tipos A, B ó C. Siempre se mencionarán tres tipos de material, para determinar claramente de cual se trata; por ejemplo, un suelo poco o nada cementado, con partículas menores de 7.5 centímetro, se clasificara 100-0-0, correspondiendo la primera cifra al Material A y los ceros siguientes. corresponderán a los materiales B y C respectivamente. Para un material que presenta mayor dificultad que el material tipo A, pero menor que un material B, se le deberá aplicar una clasificación intermedia, asignándole el porcentaje de materiales A y B de acuerdo con su menor o mayor dificultad de excavación y carga; por ejemplo un material precisamente intermedio se clasificará 50-50-0 y un material con condiciones semejantes que se encuentra entre los material B y C se le clasificará 0-50-50.
- b) Si el material de corte esta compuesto de diferentes tipos de material de acuerdo con su dificultad de extracción y muestra una separación definido, cada material se clasificará por separado, tomando en cuenta los volúmenes parciales; posteriormente se calcula el volumen total considerando los tres tipos de materiales A, B y C. Así un Material A, 100-0-0, que corresponde a un 30% del volumen total, colocada sobre un material que corresponde a una clasificación en promedio entre B y C, es decir, 0-50-50, el volumen total se clasificará 30-35-35. Si en el mismo caso el material inferior es C, es decir 0-0-100, la clasificación general resultará de 30-0-70 y si el Material B fuera 0-100-0, se clasificara el volumen total de 30-70-0.

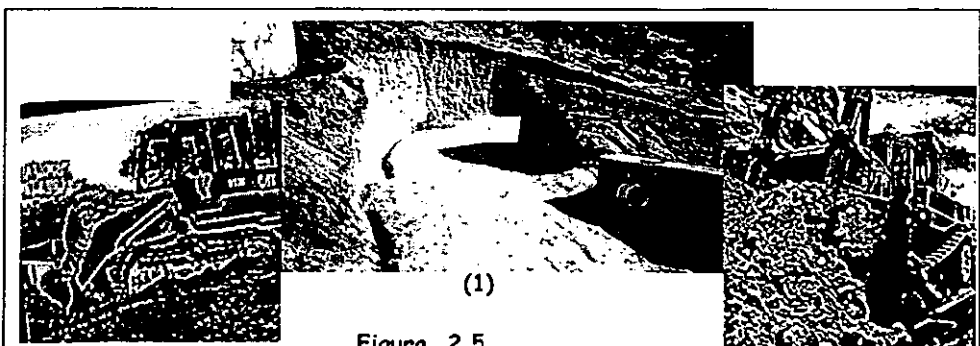


Figura 2.5

- (2) (1) Vista de un camino en corte (3)  
 (2) Tractor realizando trabajos de corte en material tipo B.  
 (3) Tractor realizando trabajos de corte en material tipo B y C.

### **Ejecución de los cortes.**

Los trabajos inician con el despalme del área de los cortes o de los terraplenes para eliminar el material no adecuado para la construcción de las terracerías. Los despalmes sólo se realizarán en material tipo A y en algunos intermedios que varían entre A y B.

La excavación de los cortes deberá ser a manera que permita el drenaje de forma natural del corte, las cunetas se construirán con la oportunidad necesaria y de manera que su desagüe no cause perjuicio a los cortes y a los terraplenes; las contracunetas se deberán hacer en forma simultánea con los cortes. Iguales disposiciones se observaran con los cortes que se modifiquen en una terracería existente.

Los materiales producto de la excavación serán empleados para los terraplenes o se desperdiciaran según lo que marque proyecto. Todo el material suelto y las piedras flojas de los taludes serán removidos.

Finalmente se verificarán el alineamiento, el perfil y las secciones en su forma, anchura y acabado de acuerdo con lo fijado en el proyecto dentro de las tolerancias que se indican a continuación:

- a) Niveles en la subrasante + 3 cm.
- b) Ancho de la excavación, al nivel de la capa subrasante, del centro de la línea a la orilla +10 cm.
- c) Salientes aisladas, con respecto a la superficie teórica del talud:
  - 1. En Material A o B 10 cm.
  - 2. En material C 50 cm.

### **Medición.**

Para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes los conceptos de obra se medirán por metro cúbico como unidad de medición y en ningún caso se tomará el abudamiento.

### 2.2.2.1 PRESTAMOS.

Cuando el material para la formación de los terraplenes resulta insuficiente se realizan excavaciones de prestamos, ejecutadas en los lugares fijados en el proyecto. Estos pueden ser:

- a) Laterales
- b) De banco

#### a) Prestamos laterales.

Son los ejecutados dentro de fajas ubicadas fuera de los cerros, en uno o en ambos lados del eje de las terracerías. Con anchos determinados en el proyecto, cuyos materiales se utilizan exclusivamente en la formación de aquellos terraplenes situados lateralmente a dichos prestamos, pudiendo sobresalir los extremos de unos u otros, en cada caso, hasta 20 metros. Los anchos de las franjas siempre se mediaran a partir del eje de las terracerías. Para cada tramo, cada faja con un ancho fijado, no se dividirá en fajas de un ancho menor, para fines de medición. El acarreo es libre, por lo cual no se medirá. El ancho de cada faja, podrá ser hasta de:

- 20 m
- 40 m
- 60 m
- 80 m
- 100 m, como máximo

#### b) Prestamos de banco.

Son los ejecutados fuera de la faja de 100 metros de ancho. También se considera préstamo de banco, las excavaciones ejecutadas dentro de las fajas para prestamos laterales, cuyos materiales se empleen en la construcción de terraplenes que no estén situados lateralmente a dichos prestamos, tomando en cuenta la tolerancia de 20 m.



### 2.2.3 TERRAPLENES

Son las estructuras realizadas con el material adecuado producto de cortes o préstamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto; se consideran también a los enfoques de los puentes y de pasos a desnivel, la ampliación de la corona, el tendido de los taludes y la elevación de la subrasante, en terraplenes existentes y el relleno de excavaciones por abajo de la Subrasante, en cortes.

#### Materiales.

Los materiales empleados para construir los terraplenes serán los obtenidos en los cortes y/o préstamos. Estos materiales se clasifican de la siguiente manera:

- Materiales compactables
- Materiales no compactables

Los materiales compactables son los fragmentos de roca muy alterada, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

Los Materiales no compactables son los fragmentos de roca proveniente de mantos sanos, tales como: basaltos, conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andesitas, por mencionar algunos tipos.

#### Ejecución del Terraplén.

Al igual que en los cortes, se inicia despalmando el sitio de desplante de los terraplenes; cuando lo fije el proyecto, antes de iniciar la construcción de los terraplenes se rellenarán los huecos motivados por el desenraice, se escarificará y se compactará el terreno natural o el despalmando, en el área de desplante y en el espesor ordenado, hasta alcanzar el grado de compactación fijado.



Figura 2.6 Vista de un camino en terraplén.

Siempre que la topografía del terreno lo permita, los terraplenes se construirán por capas sensiblemente horizontales en todo el ancho de la sección, de acuerdo con el espesor indicado aproximadamente uniforme.

En la ampliación de corona de terraplenes existentes (escalones de liga) y/o en la elevación de subrasante, para obtener una buena liga entre el material que se utilice y el terraplén existente, salvo indicación en contrario del proyecto, en términos generales se procederá de la manera siguiente:

- a) Se despalmará el sitio del desplante de los terraplenes, recortando el primer escalón de liga al pie del talud del terreno.
- b) Se rebajará horizontalmente la parte superior del terraplén en todo el ancho de la sección, hasta el nivel fijado en el proyecto. El rebaje se efectuará por capas del espesor que se fije en el proyecto.
- c) El material producto del rebaje de cada capa se colocará y extenderá al pie del terraplén a partir del desplante de la ampliación, recortando simultáneamente el escalón de liga correspondiente, cuyo peralte será igual al espesor de la capa que se está formando.
- d) Se compactará el material de la capa extendida, al grado indicado en el proyecto.
- e) Se continuará rebajando el terraplén por capas sucesivas. El material resultante se irá vaciando, extendiendo y compactando capa por capa, para seguir formando el terraplén de ampliación, teniendo en cuenta lo indicado en los incisos c) y d) anteriores, hasta alcanzar el nivel del terraplén que se viene rebajando.
- f) Salvo lo que indique el proyecto, no se formarán escalones cuando el terraplén que se modifica esté constituido por material no compactable.

En el tendido de taludes de terraplén existentes en los que no se vaya a modificar el ancho de la corona, para obtener una buena liga entre el material que se utilice y el terraplén existente, salvo indicaciones del proyecto, en términos generales se llevara a cabo de la siguiente forma:

- a) Se despalmará el sitio del desplante de los terraplenes, recortando el primer escalón de liga al pie del talud del terraplén.

- b) El material para el tendido, obtenido del sitio que fije el proyecto, se colocará por capas y al extenderlo en el talud del terraplén existente, cuyo peralte será igual al espesor de la capa suelta que se está formando.
- c) No se formarán escalones cuando el terraplén sea de material no compactable, al menos que haya cambios en el proyecto.

En las ampliaciones de corona y/o tendido de terraplenes existentes en que se emplee material no compactable, su formación se hará a volteo, excavando previamente escalones en los taludes del terraplén, salvo cuando este se encuentre formado con material no compactable.

Cuando la topografía del terreno presente zonas inaccesibles para la construcción del terraplén en capas, se rellenará a volteo el lugar hasta alcanzar una altura en la que se pueda formar una plantilla, permitiendo la operación del equipo para construir el terraplén por capas compactadas, según lo descrito anteriormente.

La capa de subrasante deberá tener como mínimo 30 cm de espesor, formándose con una o con varias capas de material seleccionado, del espesor parcial que fije el proyecto.

Dado que en las orillas no se alcanza un buen nivel de compactación, las normas permiten la ampliación de la corona, de manera que el ancho real de proyecto alcance el grado de compactación fijado; el talud nuevo deberá coincidir con el de proyecto en la línea de los cerros, obteniéndose cuñas laterales de sobrecancho con una compactación menor que el resto del terraplén, una vez terminado el terraplén las cuñas deberán ser recortadas afinando el talud de proyecto y extendiendo el material en el pie del terraplén.

En los terraplenes que se construirán con material no compactable, al formar las capas su espesor será el mínimo que permita el tamaño mayor del material. Salvo indicaciones contrarias que proponga el proyectista, en cada capa se hará el acomodo del material mediante 2 tránsitos, por cada uno de los puntos que forman la superficie de la capa, la cual se acomodará con tractor con peso de 20 toneladas, avanzando y retrocediendo la máquina con movimiento ronceado.

Es muy importante terminar las alcantarillas y muros de retención antes de construir los terraplenes, el frente de estas obras deberá ir, por lo menos 500 metros adelante de las

terracerías. También se deberá ejecutar previamente el relleno de las excavaciones para la construcción de los muros de sostenimiento y los colchones de protección de las obras de drenaje.

Los procedimientos de ejecución para el mezclado, tendido y compactación de la capa subrasante formada con material seleccionado, en la elevación de la subrasante en cortes y/o terraplenes existentes de la capa subrasante sobre terraplenes construidos con material no compactable y de la capa subrasante en los cortes en que se haya ordenado excavación adicional cuando el proyecto indique que el trabajo se lleve a cabo mediante un tratamiento similar a la construcción de la sub-base, en términos generales, serán los siguientes puntos a tratar:

- a) Cuando se empleen 2 o más materiales se mezclarán en seco con el fin de obtener un material más uniforme.
- b) Cuando se emplee motoconformadora para el mezclado y el tendido, se extenderá parcialmente el material y se procederá a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar la humedad que se fije y hasta obtener homogeneidad en granulometría y humedad. A continuación se extenderán en capas selectivas de materiales sin compactar, cuyo espesor no deberá ser mayor de 15 centímetros.
- c) Cada capa extendida se compactará hasta alcanzar el grado mínimo fijado, sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto, el cual podrá indicar que cualquier capa ya compactada se escorifique superficialmente y se le agregue agua, si es necesario, antes de tender la siguiente capa, a fin de ligarlas adecuadamente. Podría efectuarse la compactación en capas de espesores mayores que el inciso b) de este mismo párrafo, siempre que se obtenga la compactación fijada en el proyecto. Se darán riegos superficiales de agua, durante el tiempo que dura la compactación, únicamente para compensar la pérdida de humedad por evaporación.
- d) En las tangentes, la compactación se iniciará de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior de la curva hacia la parte exterior.

Para dar por terminada la construcción de un terraplén, incluyendo su afinamiento, se verificará el alineamiento, el perfil y la sección en su forma, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado por el proyecto dentro de las siguientes tolerancias:

- a) Niveles de subrasante con un valor de  $\pm 3$  cm.
- b) Ancho de corona, al nivel de la subrasante, del centro línea a la orilla con un valor de  $+10$  cm.
- c) En taludes o en el ancho entre el centro de línea y las líneas de ceros, conservando el plano general de estos:
  - 1) En Material A o B, los valores son  $+30$  cm.
  - 2) En Material C, los valores son  $+75$  cm.
- d) Para aeropistas:
  - 1) Profundidad de las depresiones, observadas colocando una regla de 5 metros de longitud paralela y normalmente al eje, el valor máximo es 2.5 cm.
  - 2) Pendiente transversal, los valores son  $\pm 1/2$  %

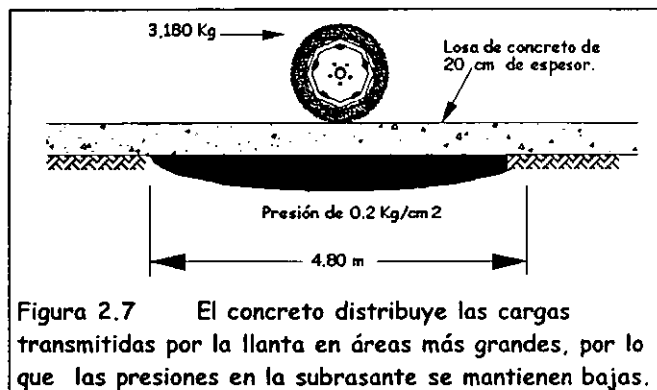
### **Medición.**

Los conceptos de obra a que se refiere este capítulo se medirán tomando como unidad el metro cubico. El resultado se considerará redondeando a la unidad.

La subrasante y la sub-base son parte fundamental del diseño para lograr la capacidad estructural y la comodidad de la marcha de vehículos en todos los tipos de pavimentos. En los casos de pavimentos de concreto hidráulico los factores que interactúan directamente con estos elementos son indiscutiblemente los ambientales y la cantidad del tráfico pesado. En cualquier tipo de situación el objetivo de estos elementos que componen los pavimentos de concreto hidráulico es proporcionar una condición de apoyo uniforme que garantice su vida útil.

#### 2.2.4 PRINCIPIO DE APOYO UNIFORME.

Los pavimentos de concreto tienen la capacidad de distribuir las cargas sobre áreas más grandes de la subrasante, esta cualidad se da por su alta rigidez y resistencia a la flexión. El concreto tiene un módulo de elasticidad de entre 280,000 y 420,000  $\text{Kg/cm}^2$  lo que le da un alto grado de rigidez. Como viga el concreto posee una resistencia a la flexión que varía entre 38.5 y 52.5  $\text{Kg/cm}^2$ , pudiendo alcanzar valores mayores. Por tanto, dicha capacidad permite que las deflexiones de las losas sean pequeñas y las presiones aplicadas a la subrasante muy bajas (figura 2.7)



**Figura 2.7** El concreto distribuye las cargas transmitidas por la llanta en áreas más grandes, por lo que las presiones en la subrasante se mantienen bajas.

Los pavimentos de concreto no necesitan un material de cimentación muy resistente, si no que resulta más importante proveer un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios significativos en la capacidad de soporte.

Lo anterior es muy importante, pues contrasta con el principio de diseño de los pavimentos flexibles, en los que son necesarias capas de sub-base y base sucesivamente más resistentes a fin de distribuir las presiones transmitidas por las cargas sobre las ruedas a través de la superficie de asfalto.

El principio del apoyo uniforme explica el comportamiento del pavimento, que de otra manera sería difícil de entender. Se han hecho estudios de comportamiento en muchos

kilómetros de pavimentos de concreto antiguo, contruidos sin control de compactación de la subrasante y sin contar con sub-base. Estos pavimentos antiguos, están todavía en condiciones excelentes cuando la subrasante era naturalmente uniforme. Las fallas están limitadas a las transiciones entre corte y terraplén y a otras zonas donde existan cambios bruscos en la subrasante y en las condiciones de humedad.

La mayoría de los pavimentos de carreteras cuentan con sub-base, y se construyeron con un cierto grado de control de compactación de la subrasante. Los estudios muestran un mejor comportamiento en suelos de baja resistencia, en los que los materiales constitutivos proporcionaron un apoyo razonablemente uniforme, a diferencia de los suelos más resistentes que carecen de uniformidad.

En pruebas realizadas por la Portland Cement Association se encontró, que las cargas más pesadas se distribuyen en grandes áreas de la subrasante y no inducen altas presiones a esta capa.

### **Diseño para lograr un apoyo uniforme.**

Para poder lograr una subrasante y una sub-base que proporcione un apoyo razonadamente uniforme, se deberán controlar las tres causas principales de heterogeneidad:

- 1) Suelos Expansivos
- 2) Bufamiento por congelación
- 3) Efectos de bombeo

El control efectivo de los suelos expansivos y del bufamiento por congelación se puede lograr en forma más económica, mediante técnicas adecuadas de preparación de la subrasante. En el caso de la existencia del efecto de bombeo, se necesita colocar una capa delgada de sub-base. El uso de capas gruesa de sub-bases para el control masivo de suelos expansivos y de bufamiento por congelación, no es tan efectivo como una buena preparación de la subrasante y generalmente es más costosa. En las secciones de subrasante y sub-base se presenta información más detallada de cada uno de estos factores.

## 2.2.5 SUBRASANTE

La función primordial de la subrasante es dar un soporte adecuado al concreto. Hay situaciones en que las condiciones de la subrasante no son uniformes, para llegar a corregirlas se tiene que hacer uso de métodos efectivos y económicos, como la granulometría selectiva, descarga lateral, mezclado en transiciones bruscas, control de humedad y peso volumétrico durante la compactación y preparación de la subrasante. Se necesita poner atención especial, al control de los suelos expansivos y de los asentamientos diferenciales excesivos por hinchamiento debido a la congelación.

La colocación de una capa de sub-base también ayuda a lograr un apoyo uniforme aunque su finalidad principal es la de evitar al efecto de bombeo. Independientemente de que se necesite o no una capa de sub-base, la preparación adecuada de la subrasante es la mejor forma de obtener un apoyo adecuado.

### 2.2.5.1 SUELOS EXPANSIVOS.

La contracción diferencial excesiva y el hinchamiento son las principales características de los suelos expansivos, pues dan lugar a un apoyo no uniforme de la subrasante. A esto se debe que los pavimentos de concreto se pueden distorsionar a tal grado, que afecte las condiciones de confort de la marcha de vehículos. Varias son las condiciones que pueden dar lugar a este tipo de distorsión y alabeo del pavimento con sub-base de suelos expansivos.

1. Si los suelos expansivos se compactan cuando están demasiado secos o se dejan secar antes de la pavimentación, la expansión subsecuente puede ocasionar el escolamiento de juntas y pérdida de la corona.
2. Cuando los pavimentos de concreto se colocan sobre suelos expansivos con contenido de agua demasiado variable, la contracción posterior y la expansión pueden causar jorobas, depresiones u ondulaciones en el pavimento,
3. Ondulaciones similares, aparecen cuando existen cambios bruscos en la capacidad de cambio volumétrico de los suelos para la subrasante.



### **Identificación de suelos expansivos.**

El conocimiento del potencial de cambio volumétrico de los suelos y de efectos que pueden acarrear problemas en el comportamiento del pavimento es adquirido a través de experiencias, que han demostrado que los cambios volumétricos de las arcillas con un potencial de medio a bajo de expansión, generalmente no ocasionan problemas a los pavimentos de concreto, sobre todo si se minimizan las heterogeneidades bruscas de las condiciones del suelo al ajustar la granulometría de la subrasante y/o del terreno natural.

Algunos de los efectos más importantes que se determinan a partir de las pruebas, y los cuales no se obtienen con pruebas índice simples, se indican a continuación:

- El efecto de la humedad y peso volumétrico de compactación en las características de expansión de los suelos.
- El efecto de las sobrecargas.
- La expansión para la granulometría total de la muestra en lugar de únicamente la granulometría de la fracción mas fina del suelo.

La mayoría de los suelos suficientemente expansivos como para causar la distorsión del pavimento caen dentro de los grupos AASHTO A-6 o A-7. Dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, los suelos identificados como CH, MH y OH se consideran expansivos.

### **Control de los suelos expansivos**

La magnitud del cambio volumétrico que tendrá lugar en cierto suelo expansivo depende de varios factores:

1. Clima - grado de cambio de humedad que tendrá lugar en la subrasante a lo largo de todo el año o de un año a otro. Es generalmente cierto, que la colocación de un pavimento reducirá el grado de cambio de humedad en la subrasante que lo subyace.

2. Condiciones de carga- efecto de sobrecarga producido por el peso del suelo, arriba de la capa potencialmente expansiva, la sub-base y el pavimento por encima del suelo expansivo.
3. Condiciones de humedad y de peso volumétrico de la subrasante expansiva en el momento de la pavimentación.

El conocimiento de la interrelación entre estos factores, llevará a la mejor selección de los métodos de control más económicos.

### **Granulometría en el terreno de apoyo y/o Subrasante.**

Los resultados de pruebas de laboratorio indican que la expansión del suelo se puede reducir por medio de sobrecargas. En las mediciones de campo señalan que la expansión excesiva a profundidades de 30 a 60 cm, gradualmente disminuyen a un valor despreciable a profundidades de 4.50 m o mayores. Por lo tanto, se puede controlar la expansión excesiva colocando los suelos más expansivos en las partes mas bajas de los terraplenes y colocando los menos expansivos lateralmente, esto en la parte superior de la subrasante tanto en terraplenes como en excavaciones. Mediante la clasificación granulométrica selectiva y el mezclado de los suelos, se pueden lograr condiciones razonablemente uniformes en la parte superior de la subrasante, así como transiciones granulares entre suelos con distintas propiedades de variación volumétrica. Éstas operaciones también se usan para transiciones entre cortes y terraplenes a fin de corregir los cambios bruscos en los tipos de suelo.

En secciones excavadas en cortes profundos a través de suelos altamente expansivos, se podrá presentar una gran expansión debido a la remoción de la sobrecarga natural y a la consecuente absorción de humedad adicional. Ya que esta expansión toma lugar lentamente, resulta recomendable excavar estos cortes tan profundos con mucha anticipación a los demás trabajos de terracerías.

### **Compactación y control de humedad.**

Los cambios volumétricos se pueden reducir todavía más, mediante el control adecuado de la humedad y del peso volumétrico durante la compactación. Resulta crítico

compactar los suelos altamente expansivos entre el 1 y 3 % por arriba de la humedad óptima establecida en la norma AASHTO T99. Cuando los terraplenes sean muy altos, los contenidos de agua de compactación se pueden aumentar desde un valor ligeramente menor que la humedad óptima en la parte baja del terraplén hasta arriba del óptimo en los últimos 30 a 90 cm.

Una mejor energía de compactación, dará lugar a expansiones mucho menores, pero esto no se recomienda en la práctica. Con energías de compactación bajas, se podrán presentar dificultades prácticas para obtener un grado de compactación razonablemente uniforme. Por lo tanto, esto se podrá lograr mejor aumentando el contenido de agua para energías de compactación, cercanas a las correspondientes a la norma AASHTO T99.

La investigación de laboratorio ha demostrado que los suelos expansivos compactados ligeramente arriba de la humedad óptima se expanden menos, pero tienen mayores resistencias después de humedecidos y absorben menor agua.

La prueba modificada AASHTO T180 se desarrolló para representar el mayor grado de compactación de la sub-base y capas de bases con materiales granulares. También resulta útil para subrasantes de baja plasticidad. Aunque resulta excelente para estos fines, la mayor energía de compactación, da lugar a contenidos de agua que resultan demasiado bajos para el caso de suelos expansivos. La compactación de suelos expansivos con estos contenidos óptimos de agua más bajos, trae como resultado hinchamientos excesivos los cuales a su vez, producen pavimentos difíciles de transitar sobre ellos.

Una vez que los pavimentos entran en operación, la mayoría de las subrasantes alcanzan un contenido de agua que se acerca a su límite plástico, el cual es ligeramente mayor que el óptimo estándar.

En resumen, los resultados obtenidos de la experiencia de la investigación confirman que la compactación de suelos plásticos con contenidos de agua por arriba del óptimo estándar reduce el potencial de expansión, proporciona una subrasante más estable y minimiza el grado de cambio de humedad, después de que los pavimentos se ponen en servicio. Por lo tanto, se logra un apoyo más uniforme y los cambios volumétricos son mínimos bajo las condiciones de servicio.

### **Cubierta no expansiva.**

En el área sujeta a periodos prolongados de sequía, las subrasantes altamente expansivas se tendrán que proteger con una capa de suelos de bajo cambio volumétrico, colocada a todo el ancho sobre la subrasante. Con esto se reducirán los cambios en el contenido de agua del suelo expansivo subyacente y además inducirá un efecto de sobrecarga. Una capa de variaciones en peso volumétrico y con baja permeabilidad no sólo resulta más efectiva sino que a menudo es menos costosa que un suelo granular permeable. Los materiales permeables no se deben colocar directamente encima de los suelos expansivos ya que permiten cambios en el contenido de agua de la subrasante.

### **Métodos especiales de estabilización.**

Donde exista la posibilidad de tener cambios volumétricos de importancia, se podrán aplicar varios tratamientos especiales que han demostrado su efectividad. Entre ellos se incluye la inundación (Pre-expansión), la encapsulación con membrana, las geomembranas horizontales, y las barreras verticales contra humedad. Se ha empleado la estabilización química electro-osmótica de importancia y la inyección a presión de productos químicos. También se tiene las subrasantes tratadas con cemento o con cal.

### **Drenaje.**

Cuando resulte tener una rasante alta, se deberán construir obras de drenaje para abatir el nivel freático. El drenaje se deberá colocar de tal forma, que el nivel de aguas freáticas se abata por debajo del intervalo de variación capilar, ya que el agua capilar no puede drenar eficientemente. Cuando se encuentran humedades en la rasante debidas a las filtraciones a través de estratos permeables subyacidos por un material impermeable, se podrán colocar drenes interceptores.

El material de relleno colocado alrededor y por encima de los subdrenes a base de tuberías debe ser de tamaño suficientemente uniforme, como para permitir un flujo expedito, aunque los poros no deben ser tan grandes como para dejar pasar el arrastre de los suelos adyacentes. El relleno alrededor de las tuberías debe cumplir los criterios para filtros de tal manera que no se presente arrastre de suelos ni taponamiento de los drenes.

### 2.2.6 SUB-BASES

A menudo se afirma que un pavimento sólo puede ser tan bueno como lo sea el terreno sobre el que está colocado. La uniformidad de la subbase es la clave para un buen desempeño del pavimento de concreto. El ingeniero debe vigilar que no existan disparidades en la subrasante antes de la construcción de la subbase o del pavimento. La subbase y el pavimento no tendrán un desempeño satisfactorio a menos que estén colocados sobre una subrasante que les dé un soporte estable constantemente.

*La función esencial de una subbase es evitar el bombeo de los suelos de granulometría fina.* Bajo condiciones que inducen al bombeo, es obligado usar una capa de subbase. Estas condiciones frecuentemente se contemplan como parte del diseño de pavimentos fuertemente transitados. Las condiciones necesarias para el bombeo de lodo no existen en caminos secundarios de bajo tráfico, en calles residenciales y en aeropuertos con tráfico ligero. Para estos, el uso de una capa de subbase no se justifica económicamente, y los resultados deseados pueden ser obtenidos con la preparación adecuada de la subrasante, que resulta menos costosa.

Desde el punto de vista económico, la subbase tiene dos funciones:

**Primaria.** Es necesario el empleo de una sub-base para evitar el efecto de bombeo

**Secundaria.** La sub-base es opcional para:

- Ayudar a controlar el encogimiento de suelos.
- Ayudar a controlar la expansión de suelos.
- Evitar el bombeo de lodo en suelos de granulometría fina.
- Para actuar como plataforma de trabajo para la construcción del pavimento.
- Para proporcionar una capa de drenaje donde ésta sea necesaria.

En los casos en que sea necesaria una capa de sub-base, no es económico usar una capa gruesa para aumentar la capacidad estructural del pavimento, siendo que la mayor parte de esta capacidad la proporciona la losa de concreto.

### 2.2.6.1 EFECTO DE BOMBEO

El efecto de bombeo en pavimentos rígidos consiste en el desplazamiento de una mezcla de suelo y agua por debajo de las losas, grietas y bordes del pavimento. El bombeo puede presentarse cuando los pavimentos de concreto son colocados directamente sobre suelos plásticos de granulometría fina y subbases sensibles a la erosión. El bombeo no controlado y constante eventualmente produce un desplazamiento de suelo suficiente como para que la uniformidad del soporte sea destruida, dejando sin soporte a los extremos de las losas.

De acuerdo con los resultados de estudios conjuntos realizados por la AASHTO y la PCA se necesitan tres factores para que se presente el fenómeno de bombeo:

1. Una subrasante cuyo suelo esta en un estado de suspensión.
2. Agua libre entre el pavimento y la subrasante o sub-base.
3. Paso constante de cargas pesadas.

Es posible bombear materiales granulares con las excesivas deflexiones causadas por las cargas frecuentes en losas de espesor inadecuado. En pavimentos normales en servicios sujetos a un tráfico de peso variable, el bombeo sólo se presenta con suelos de granulometría fina.

El desempeño de secciones de pruebas sin subbase, de acuerdo con las Pruebas de Caminos de la AASHO, mostró que los pavimentos sin subbase adecuadamente diseñados son apropiados para muchas calles citadinas, caminos rurales, carreteras y aeropuertos de tráfico ligero.

1. Los Pavimentos con menos de 100 a 200 camiones por día no requieren de subbase.
2. Los suelos con menos de 45 por ciento de paso en la malla No. 200 y con un IP de 6 o menos, son adecuados para volúmenes moderados de tráfico de camiones pesados.

3. Las subbases que se apegan a la AASHTO M155 evitan con efectividad el bombeo de lodo en pavimentos que soportan altos niveles de tráfico.

Especificación AASHTO M155 para evitar estados de bombeo: El material granular que será usado como subbase para un pavimento de concreto debe estar compuesto por arena, arena-grava, piedra triturada, escoria triturada o granular, o por combinación de estos materiales. El material debe cumplir los siguientes requerimientos:

Tamaño máximo:	No más de un tercio del espesor de la subbase
Peso en malla No. 200:	15 por ciento como máximo
Índice de plasticidad:	6 máximo
Límite líquido:	25 máximo

Materiales con un porcentaje de peso mayor por la malla No. 200 o con un índice de plasticidad mayor que 6, o con un límite líquido mayor que 25, pueden ser usados siempre y cuando se utilice un método de estabilización adecuado. El material debe ser graduado apropiadamente para permitir la compactación hasta una densidad tal que ocurra un incremento mínimo en la densificación después de que el pavimento esté en servicio.

### 2.2.6.2 TIPOS Y CONSTRUCCIÓN

Existen varios tipos de subbases que pueden ser usados. El tipo elegido está dictado por los requerimientos de diseño y por la disponibilidad de los materiales locales. Las subbases que serán discutidas incluyen las siguientes:

- A) Sub-bases No tratadas
- B) Sub-bases Tratadas con cemento
- C) Sub-bases De concreto pobre
- D) Sub-bases Permeables.

## **A) SUB-BASES NO TRATADAS.**

Se ha empleado con éxito una gran variedad de materiales y de granulometrías para construir sub-bases no tratadas, en las distintas organizaciones de carreteras. Se puede mencionar la piedra triturada, grava-arenas de bancos de préstamo, arenas, gravas estabilizadas con suelos y materiales locales como desperdicios de minas triturados, mezclas de arena con conchas y escoria de fundición.

El criterio principal consiste en limitar la cantidad de finos que pasan la malla No.200. Se debe evitar el uso de agregados blandos porque se pueden producir finos por efectos de abrasión o trituración inducidos por el equipo de compactación y por el tráfico durante la construcción. Generalmente los agregados con menos del 50% de pérdida en la prueba de Los Angeles de abrasión (AASHTO T96, ASTM C131) resultan adecuados.

### **Control granulométrico.**

Una manera efectiva para garantizar el control granulométrico, es permitir una amplia gama de variación en la selección de la sub-base desde el punto de vista de límites granulométricos, que hayan demostrado buenos resultados. Antes de iniciar los trabajos, el contratista debe someter a aprobación una sola curva granulométrica. A continuación, al contratista se le pedirá que proponga una sub-base que no varíe con respecto al material aprobado en más de 5%.

### **Diseño de filtros para granulometría uniforme.**

En aquellos casos en que se especifiquen sub-bases bien granuladas, la infiltración de agua no será un problema. Sin embargo, en las sub-bases con granulometría uniforme se puede presentar el fenómeno de arrastre de los suelos de grano fino y esto puede dar lugar a un comportamiento no satisfactorio del pavimento. Se recomiendan los siguientes criterios para evitar el arrastre de finos a través de sub-bases de granulometría uniforme:

- 1- El tamaño correspondiente al 15% (D15) de la sub-base no debe exceder cinco veces la fracción de 85% (D85) del filtro.



- 2- El tamaño correspondiente al 50% (D50) de la sub-base no debe exceder 25 veces que la fracción de 50% (D50) del filtro.
- 3- El tamaño correspondiente al 15% (D15) del filtro no debe exceder cinco veces la fracción de 85% (D85) del suelo de subrasante.
- 4- El tamaño correspondiente al 50% (D50) del filtro no debe exceder 25 veces la fracción de 50% (D50) del suelo subrasante.

(El tamaño  $D_x$  significa que un porcentaje  $x$  de las partículas es menor, o que pasa, este tamaño).

Si la sub-base también se usa como cubierta de subdrenes de tubería, el tamaño correspondiente al 85% de la sub-base, deberá ser cuando menos 1.5 a 2 veces mayor que las perforaciones del tubo.

### **Compactación.**

Los materiales granulares están sujetos a consolidación por el efecto del paso de tráfico pesado una vez que los pavimentos se ponen en servicio. Para evitar un grado perjudicial de consolidación, las sub-bases se deben compactar con pesos volumétricos muy altos. Por lo tanto, las pruebas con cargas estáticas y repetidas proporcionan un apoyo convincente para llegar a las siguientes conclusiones:

- 1- Las sub-bases para pavimentos de concreto deberán tener un mínimo de 100% de peso volumétrico AASHTO T99. En proyectos donde circularán grandes volúmenes de tráfico pesado, el peso volumétrico especificado no deberá ser menor de 105% del peso volumétrico estándar o de 98 a 100% del valor AASHTO T180.
- 2- El material adicional y los costos de construcción necesarios para obtener sub-bases de más espesor no se justifican. Cuando los espesores de la sub-base aumentan más allá de los 10 o 15 cm necesarios para evitar el efecto de bombeo, aumenta cada vez más el riesgo de un comportamiento deficiente del pavimento, debido a la consolidación de la sub-base inducida por el tráfico pesado.

### Espesor.

Ya que la finalidad principal de la capa de sub-base es la de evitar el efecto del bombeo de finos, no es necesario ni tampoco económico usar sub-bases gruesas. Los proyectos experimentales han demostrado que una sub-base de 7.5 cm de espesor evitará dicho efecto de bombeo bajo condiciones de tráfico muy pesadas. Durante los estudios de sub-bases, en excavaciones de zanjas realizadas en los bordes de pavimentos, se encontró que un espesor de sub-base de 5 cm era suficiente para evitar el efecto de bombeo en proyectos que soportan tráfico pesado durante 10 años o más. Los espesores de sub-base de 10 a 15 cm se especifican generalmente en proyectos comunes de construcción, como una manera práctica de garantizar la profundidad mínima de 5 a 7.5 cm necesaria para evitar el bombeo. Los resultados de estudios hechos en sub-bases justifican esta recomendación constructiva.

En el caso de pavimentos de espesor considerable para aeropuertos importantes, es común encontrar espesores de sub-base comprendidos entre 15 y 20 cm o sea de la tercera parte o la mitad del espesor de la losa de concreto.

### **B) SUB-BASES TRATADAS CON CEMENTO.**

El empleo de sub-bases tratadas con cemento y sub-bases de concreto pobre se han vuelto a practicar en muchas áreas geográficas tanto para la construcción de pavimentos en carreteras como de aeropistas. Entre las ventajas de su uso, una de las justificaciones más importantes es la creciente escasez de agregados que puedan satisfacer las especificaciones para construcción de pavimentos. Las sub-bases tratadas permiten un uso más eficiente de los materiales locales, de los agregados subestándar y de los materiales reciclados para pavimentación. Esto se traduce en la conservación de los agregados y en ahorro de los materiales.

Entre algunas otras ventajas que se pueden obtener o partir del uso de estas sub-bases tratadas están las siguientes:

- Reducción de los esfuerzos y de las deflexiones en los pavimentos provocados por el tráfico de vehículos.

- Se logra un apoyo uniforme para la construcción de las losas (cimbra deslizante y cimbra lateral).
- Se logra una plataforma estable de trabajo para facilitar todas las operaciones constructivas y para permitir una producción eficiente de pavimento de concreto con un mínimo de tiempos muertos por clima inadecuado.
- Prevención de la consolidación de la sub-base debido al rodamiento.
- Se logra una mejor transmisión de carga en las juntas del pavimento.
- Se minimiza la intrusión de partículas granulares duras en el fondo de las juntas del pavimento.
- Se logra una superficie de la sub-base más resistente a la erosión.

Dentro de la familia de los materiales aglutinados con cemento (sub-bases tratadas con cemento, concreto pobre y concreto convencional) la sub-base tratada con cemento contiene la menor cantidad de cemento, generalmente del orden del 4 al 5 % del cemento en peso. Otra diferencia entre las mezclas para sub-bases tratadas con cemento son, a diferencia de lo que sucede en sub-bases no tratadas, de una consistencia mucho mas seca las cuales se compactan generalmente con rodillos.

En muchos casos se pueden usar materiales granulares contaminados que no cumplen con las condiciones para emplearse en sub-bases debido al exceso de finos y de plasticidad. Estos materiales baratos a menudo necesitan menos cemento que los agregados mas limpios pero mas caros. El contenido de cemento para sub-bases tratadas se basa en pruebas estándar de laboratorio de humedecimiento y secado, y de congelación y descongelación.

Los materiales tratados con cemento son idóneos para sub-bases debido a su resistencia a la erosión. Las sub-bases no tratadas tienden a erosionarse por debajo de las juntas del pavimento. En situaciones de gran volumen de tráfico esto trae como consecuencia la frecuente falla de las juntas.

### Construcción de las sub-bases tratadas con cemento.

La construcción de las sub-bases tratadas con cemento se puede lograr con métodos de mezclado en el lugar o con una planta central. En el mezclado in situ, el material se puede procesar en una manta sobre la subrasante. Se coloca la cantidad adecuada de cemento con una extendidora de cemento y el mezclado se puede hacer ya sea con mezcladoras de pasadas múltiples, en donde se necesitan varias pasadas para mezclar los materiales en seco y en húmedo, o con mezcladoras de una sola pasada que son capaces de realizar este trabajo en una sola operación. Cuando se usan plantas centrales de mezclado se transporta la mezcla húmeda hacia el camino en camiones de volteo y se extiende con una extendidora mecánica.

Una vez que se ha mezclado uniformemente el material granular el cemento y el agua se extienden hasta lograr el espesor y el ancho que exige el diseño para después compactar la mezcla. El tipo de equipo de compactación que se use dependerá de la granulometría del material seleccionado. La etapa final consistirá en afinar la sub-base tratada con cemento hasta alcanzar el nivel y la corona que el diseño especifique.

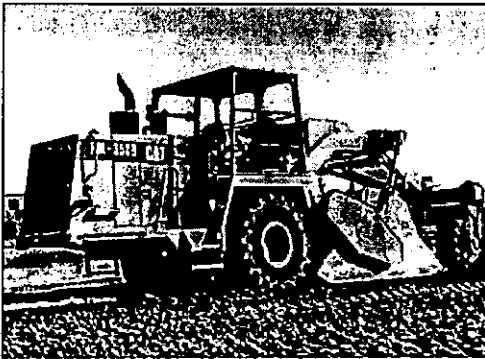


Figura 2.8 Máquina estabilizadora.

Cualquier humedad superficial que se pierde a través de la evaporación durante el proceso constructivo se debe de reemplazar por un rociado ligero nebulizado.

Una vez concluidas las operaciones del proceso, se aplica a la sub-base un rociado ligero nebulizado de agua y se le aplica un material de curado bituminoso.

### **C) SUB-BASES DE CONCRETO POBRE.**

Las mezclas para sub-bases de concreto pobre se preparan con una mayor cantidad de cemento y agua que las sub-bases tratadas con cemento aunque contienen menos cemento que el concreto convencional. A pesar de que el concreto pobre tiene la misma apariencia y consistencia que el concreto convencional, el primero se consolida por medio de vibración.

Los datos obtenidos de programas de pruebas de laboratorio y de proyectos de construcción con concreto pobre indican que se puede usar una amplia gama de agregados. Algunos de estos agregados son materiales no procesados que no alcanzan el grado de los agregados normales, o en su defecto, son material reciclado.

La mayoría de los agregados usados contiene más material fino que pasa de las mallas N° 100 y N° 200 que la cantidad aceptable para concreto normal, esto no es ningún problema porque los finos adicionales proporcionan la trabajabilidad que se necesita. En varios proyectos de reciclaje los pavimentos viejos de concreto y de asfalto se han triturado y usado como agregados para sub-bases de concreto pobre.

Los procedimientos normales y las pruebas para el diseño de mezclas de concreto también se siguen en el caso de las sub-bases de concreto pobre, con las siguientes excepciones:

- a) Con frecuencia se usa un solo agregado en lugar de la combinación de finos y gruesos.
- b) El contenido de cemento es menor que para el concreto normal y se selecciona sobre la base de obtener un nivel de resistencia.
- c) Es fundamental que la sub-base de concreto pobre sea trabajable, capaz de consolidarse debidamente por medio de vibración y lo suficientemente cohesiva como para resistir el revenimiento excesivo de los bordes cuando se coloca en una pavimentadora de tipo deslizante.
- d) Otro requisito es que el concreto pobre endurecido tenga el grado de resistencia y durabilidad adecuada para condiciones de exposición a la intemperie.

La trabajabilidad se puede mejorar con la existencia de finos extra en el agregado; con cantidades mayores que las normales de aire atrapado; con la adición de ceniza volante, aditivos reductores de agua o agentes para mejorar la trabajabilidad; o con la combinación de algunos de estos.

Las investigaciones de laboratorio y las instalaciones de campo indican que las propiedades deseables del concreto pobre usado como capa de sub-base se logran con factores de cemento en una gama de 119 a 208 Kg/m<sup>3</sup>, revenimiento de 2.5 a 7 cm,

resistencias a la compresión entre los 50 y 100 Kg/cm<sup>2</sup>, y contenido de aire iguales a los recomendados para el concreto normal aunque algo mayores (entre 6% de aire para concreto con tamaño máximo de agregados de 25 a 50 mm), en el caso de zonas con procesos de congelamiento y descongelamiento.

### **Construcción de la sub-base de concreto pobre.**

Las sub-bases de concreto pobre se construyen prácticamente de la misma manera y con el mismo equipo de los pavimentos normales de concreto. Las únicas diferencias son:

1. El sistema de juntas.
2. El tratamiento de la superficie de la sub-base de concreto pobre.

A este respecto, se proponen las siguientes recomendaciones basadas en la experiencia actual.

No se considera necesaria la instalación de juntas en la sub-base de concreto pobre. Se presentarán grietas por contracción, pero para la baja resistencia recomendada y para el tratamiento entre capas no se reflejan en la superficie del concreto. El tratamiento recomendado entre capas consiste en dejar la superficie del concreto pobre sin texturizar, a fin de evitar la adherencia mecánica a la superficie de concreto y, además, aplicar un compuesto de curado a base de cera como antiadherente. Se aplica inmediatamente una capa como curado y otra capa poco antes de que se coloque el recubrimiento de concreto.

### **D) SUB-BASES PERMEABLES.**

En años recientes, en varias carreteras se han experimentado sistemas drenables de pavimentos, en los cuales la experiencia previa ha indicado la posibilidad de fallas en el pavimento o de efecto de bombeo. Estos sistemas están formados por capas de sub-base muy permeables y por drenes de orilla que se diseñan para desalojar rápidamente el agua.

En cuanto a los materiales, las bases permeables se construyen con agregados que tienen muy pocos finos. Los materiales caen en dos categorías: con tratamiento y sin tratamiento. Las sub-bases tratadas están aglutinadas ya sea con cemento (120 a 180

Kg/m<sup>3</sup>) o con asfaltos (de 2 a 2.5 % en peso). En las tablas 2.1 y 2.2 se presentan las granulometrías propuestas por diferentes agencias de los Estados Unidos, así como los coeficientes de permeabilidad aproximados.

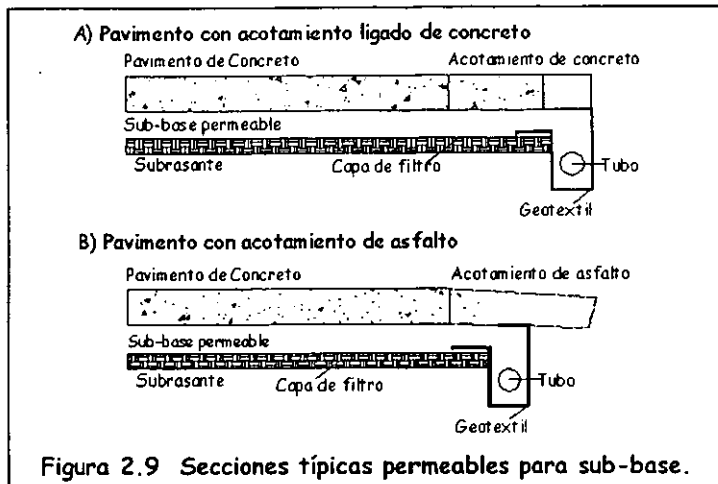


Tabla 2.1 "Granulometrías de sub-bases permeables no tratadas"

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA				
	LA	KY	MN	NJ	PA
2"					100
1 1/2"		100		100	
1"	100	95-100	100	95-100	
3/4"			65-100		52-100
1/2"		25-60		60-80	
3/8"			35-70	35-65	20-55
No. 4		0-10	20-45	40-55	8-40
No. 8	10-35	0-5		5-25	
No. 10			8-25		
No. 16				0-8	0-12
No. 30					0-8
No. 40			2-10		
No. 50	0-15			0-5	
No. 200	0-6	0-2	0-3		0-5

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA		
	AASHTO	CALIFORNIA	
	ASF/CEM	ASFALTO	CEMENTO
1 1/2"	100		100
1"	95-100	100	86-100
3/4"		90-100	22
1/2"	25-60	35-65	
3/8"		20-45	22
No. 4	0-10	0-10	0-18
No. 8	0-5	0-5	0-7
No. 10			
No. 16			
No. 200	0-2	0-2	
Coefficiente de permeabilidad	6096	4572	1219

(m por día)

Tabla 2.2 "Granulometrías y permeabilidades de sub-bases tratadas"

A pesar de que se usan materiales tan gruesos y uniformes, los parámetros especifican las granulometrías para que se incluyan más finos con el objeto de lograr una estabilidad adecuada para las operaciones de construcción por encima de la sub-bases no tratadas.

En consecuencia, los materiales permeables sin tratar generalmente tienen un menor coeficiente de permeabilidad 152 y 914 m por día (500 a 3000 ft por día) mientras que los materiales tratados poseen un coeficiente mucho más alto 4572 m por día (15,000 ft por día o mayor).

Los drenes de borde se rellenan con el mismo material de alta permeabilidad que se usa para sub-base o con algún otro tipo de material, incluso con mayor permeabilidad. Generalmente se usa tubo de PVC en la zanja y para los drenes laterales de salida. En el fondo de la zanja se coloca un geotextil para evitar la intrusión de partículas más finas.

Muchas compañías prefieren emplear una capa de agregado bien graduado entre la sub-base y la subrasante para que funcione como filtro.

Sin embargo, en unas cuantas compañías se ha usado un filtro textil en lugar de una capa de agregado.

### **Construcción de Sub-bases Permeables.**

El material permeable de la sub-base generalmente se coloca y se perfila con una máquina perfiladora autopropulsada con tolva adaptada o bien con pavimentadora. Otro método consiste en colocar el material con un camión, extenderlo con una cuchilla y luego enrasarlo y darle la sección transversal con una máquina perfiladora autopropulsada.

Los métodos de compactación varían considerablemente, dependiendo del constructor. Los siguientes son los métodos más comunes para materiales sin tratar y con tratamiento de asfalto, la mayoría de las agencias usan de 1 a 3 pasadas con compactador de rodillo liso de 4 a 10 toneladas en la modalidad estática. Un sobre trabajo de rodillos puede ocasionar degradación del material, que a su vez ocasiona pérdida de permeabilidad. Los materiales tratados con cemento se compactan de la misma manera o mediante el uso de placas o enrasadoras vibratorias.



Las sub-bases permeables tratadas con cemento se curan rociándolas con agua varias veces al día o cubriéndolas con hojas de polietileno durante 3 a 5 días. No se usan compuestos normales para curado de concreto, porque no se puede sellar herméticamente la textura superficial muy rugosa y además no se recomienda hacerlo.

Para el caso de pavimentos que se vayan a construir con bombeo transversal, se instalan drenes a las orillas a lo largo del pavimento, tanto del lado interior como del exterior. Con esto se acota la trayectoria de drenajes y se disminuye el tiempo que se necesita la sub-bases permeable para drenarse.

Sin embargo, en los carriles de pavimento que se construyen sin bombeo, solo se instala un drén lateral en el lado de menor elevación; esto resulta mucho más económico.

En algunos casos el borde interior de la zanja se localiza directamente abajo de la junta de acotamiento del pavimento; sin embargo, el método más común estriba en colocar la zanja a una distancia de 60 a 90 cm para evitar problemas de asentamiento o aplastamiento del tubo de drenaje al paso del equipo de construcción. En algunos casos, se extiende la sub-base permeable por debajo del acotamiento y el drén lateral se coloca en la parte exterior del borde del acotamiento.

El dejar la sub-base a cielo abierto como parte del talud de la zanja de drenaje no ha funcionado bien porque en los taludes crece la maleza y se obstruyen con los escombros del camino. Por ejemplo, se recomienda instalar tubos de drenaje laterales; la separación entre ellos no debe exceder de 90 a 150 m para garantizar un drenaje rápido.

El espesor de la sub-base permeable varía entre 7.5 y 15 cm (3" y 6"), siendo el más común el de 10 cm (4"). El consenso general es que el de 10 cm cuenta con una capacidad de drenaje adecuada.

El espesor de 10 cm para sub-bases permeables se considera el más adecuado para pavimentos de carreteras. Para pavimentos de aeropistas y para otros tipos de pavimentos en los cuales se deben drenar grandes extensiones de terreno, un diseño adecuado implicaría la colocación de una capa gruesa de sub-base permeable debido a la trayectoria de drenaje más larga.

## 2.3 COMPACTACIÓN

La compactación en el proceso constructivo de todo camino tiene un papel fundamental; pues se requiere que las capas que soportan la estructura superior o la losa de rodamiento tengan un alto grado de confinamiento y den un soporte sin que presenten deformaciones, debido a esto es necesario compactar muy bien las capas para evitar problemas futuros en el buen funcionamiento del pavimento. Por esto se le da una atención especial.

Por medio de la compactación se aumenta el peso volumétrico del material seco (P.V.S.M.) que es el peso máximo de las partículas sólidas del suelo, contenidas por unidad de volumen, considerando los huecos existentes entre ellas, presentándose menor permeabilidad y sus asentimientos son reducidos; presentan también un mayor valor relativo de soporte (V.R.S.) que es la resistencia a la penetración del suelo compactado y con un grado de saturación, mayor resistencia al corte y mínima variación volumétrica por cambios de humedad.

La granulometría y naturaleza de los suelos por compactar juega un papel importante en los grados de compactación a lograr y en las características finales del suelo mejorado. Una distribución granulométrica adecuada hace que las partículas pequeñas llenen los huecos que dejan las partículas más grandes logrando una mejor densificación del conjunto de partículas; y en consecuencia, mejores pesos volumétricos secos máximos, (P.V.S.M) y con el contenido de agua se reduce la fricción entre partículas, facilitando el deslizamiento entre ellas, aumentando la densidad y mejorando el ligamiento entre las partículas de arcilla, y la mejor trabazón cuando se trate de suelos granulares.

### 2.3.1 MÉTODOS Y EQUIPO

La energía de compactación depende del equipo y el método empleado en el proceso constructivo. Por lo que, a continuación se describen los principales métodos de compactación así como los equipos empleados en cada operación.

- (a) Peso estático o presión
- (b) Amasamiento
- (c) Impacto
- (d) Vibración

### A) Peso Estático o Presión.

Se basa en aplicar grandes pesos sobre la superficie a compactar; su acción es de arriba hacia abajo, esto da por resultado que las capas superiores alcanzan primero mayores densidades que las inferiores. Para su realización se emplea el siguientes equipo.

**Compactadores de Neumáticos.** Este equipo se integran por trenes de 7 o más neumáticos montados en un chasis, estos equipos pueden ser remolcados o autopropulsados. Se puede aumentar su peso mediante lastres. La eficiencia del compactador depende de la presión y el área de contacto, del numero de pasadas y del espesor de la capa del suelo, la cual no debe de ser mayor de 20 cm si el peso del equipo varía entre 10 y 20 toneladas, pero puede incrementarse a 50 cm si el equipo es de 50 toneladas. La rugosidad que adquiere la capa por el dibujo de las llantas proporciona una liga adecuada entre capa y capa.



Figura 2.10 Compactador de neumáticos

**Compactador de Rodillos Lisos.** Son máquinas autopropulsadas, comúnmente conocidas como aplanadoras, de dos o tres rodillos lisos que se emplean en la compactación de subrasantes, sub-bases, bases y carpetas. Las de dos rodillos, también conocidas como tándem, se emplean básicamente para la compactación de subrasantes, bases y carpetas asfálticas. Los equipos de tres rodillos se utilizan para compactar Sub-bases y bases. Estos equipos compactan capas de hasta 25 cm de espesor, con una masa de compactación de 14 a 20 toneladas, especialmente en suelos granulares de grano fino. Estas aplanadoras dan buenos resultados en cualquier tipo de suelo, excepto en arenas limpias y no plásticas; son más efectivas y seguras en gravas y suelos arcillosos. Son muy utilizadas para dar el acabado a la Sub-base, subrasante y carpetas asfálticas.



Figura 2.11 Compactador de Rodillos.

## B) Amasamiento.

La acción de amasado es la reorientación de las partículas en cierta densidad, causando una reducción de vacíos; la compactación por este método se genera de abajo hacia arriba, es decir, las capas inferiores se densifican primero que las superiores. Se emplea para su óptima aplicación el rodillo pata de cabra y el de reja.

**Rodillo pata de cabra.** Este equipo se constituye por un rodillo montado en un chasis el cual es arrastrado por un tractor de orugas, o bien, se le puede encontrar como una aplanadora tándem, con la diferencia de no tener rodillos lisos. La característica particular de estas máquinas es que en la superficie periférica, el cilindro tiene unas salientes radiales llamadas "Pata de Cabra", las cuales penetran en el suelo; éste tipo de equipos son muy efectivos en la compactación de suelos que contienen gran cantidad de finos, como arcillas y limos, pues concentra su peso sobre las pequeñas superficies de las puntas de forma variada; dichas patas de cabra penetran en el terreno

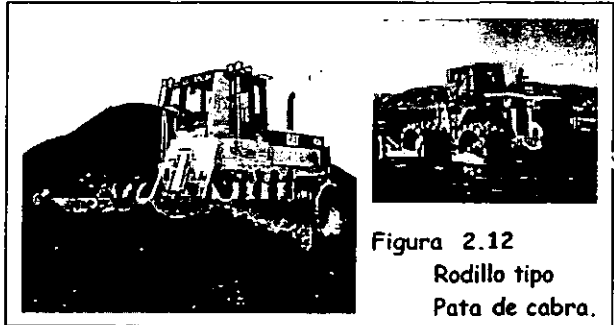


Figura 2.12  
Rodillo tipo  
Pata de cabra.

compactándolo, la superficie no queda lisa y bien compactada, lo que produce una liga entre capas que se mejora con la siguiente capa.

La longitud y la forma de los dientes apisonadores varía con el tipo y la dimensión del rodillo. Su longitud varía entre 20 y 25 cm, y su forma puede ser de tronco, de cono, tronco piramidal o "Pata de Cabra", tratando de que los apisonadores, al salir del terreno no lo aflojen considerando una operación adecuada cuando el vástago penetra del 20 al 50% de su longitud.

**Rodillo de reja.** Este rodillo funciona como un "Pata de Cabra" remolcado, excepto que las patas se sustituyen por una rejilla cuadrada. Puede lastrarse y producir presiones de más de 20 Kg/cm<sup>2</sup>. Su peso lastrado es del orden de 14 toneladas, su uso en terracerías se limita al acomodo de capas constituidas por fragmentos de roca, o al disgregado de materiales, para reducir sus tamaños.

### C) Impacto.

Este método se basa en el principio que dice que al caer un cuerpo sobre una superficie, este produce una presión que es varias veces mayor que la que antes existía y que ejercería ese mismo cuerpo estando estrictamente sin movimiento.

**Compactadores de Pisones.** Similares a los rodillos "Pata de Cabra", pero en estos, están sustituidas las "patas" por pisones. Este rodillo puede lastrarse y es remolcado por un tractor. Su uso es en la compactación de terracerías, donde las capas tengan un espesor máximo entre 25 y 30 cm. Su uso no es muy común como en el caso de los Pata de cabra.

### D) Vibración.

Se basa en la compactación por presión estática, pero al mismo tiempo se somete al material a rápidos y fuertes impactos o vibraciones; las vibraciones producidas por el compactador, eliminan la fricción interna del material, logrando que las partículas de suelo se acomoden con mayor facilidad.

**Vibro-Compactadores.** Son equipos autopropulsados de tipo combinado, algunos de ellos como los que están compuestos por cuatro rodillos que tiene "Patas de Cabra" o pisones, o el que se compone de dos ruedas neumáticas propulsoras y un rodillo liso

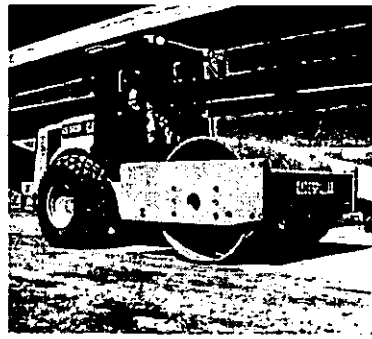
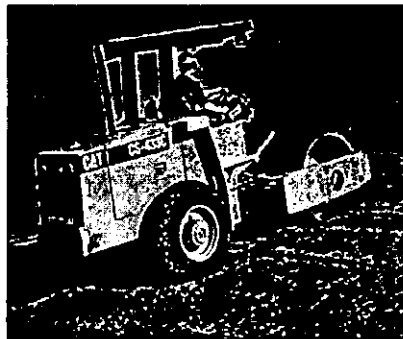


Figura 2.13 Rodillo tipo Vibro-compactador.

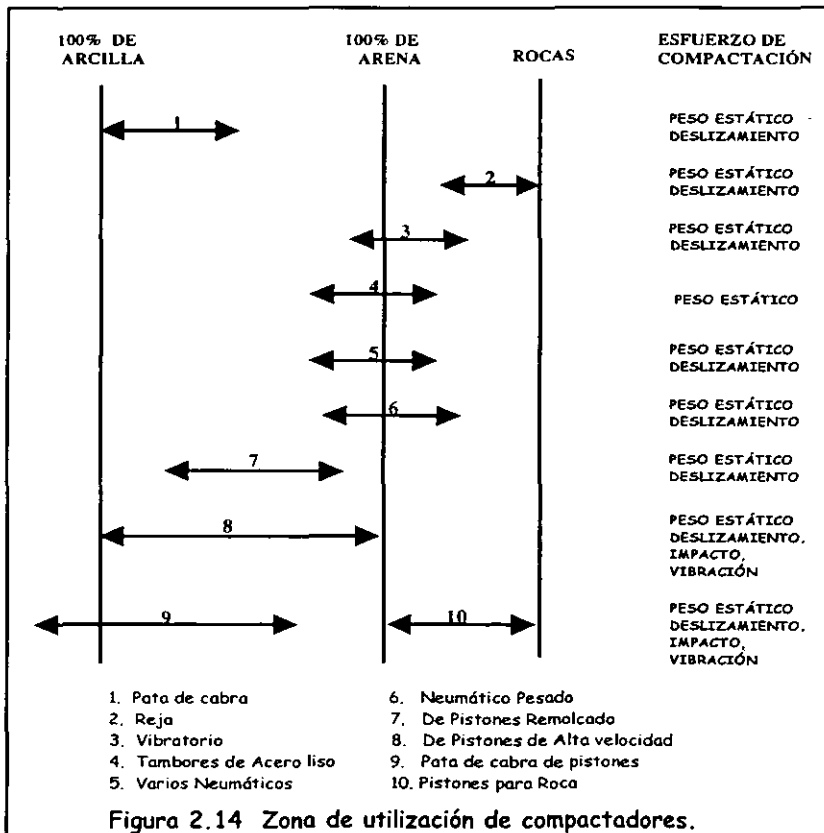
delantero (muy común) o con "Pata de Cabra" para su uso en terracerías. Su importancia radica en la capacidad del rodillo para generar vibración, cuya

frecuencia puede ser variable y con esto se puede compactar capas de mayor espesor. La vibración por si sola no nos da buenos resultados, pero sí la combinación de esta con la presión estática del rodillo liso o con el amasamiento del pata de cabra.

Estos métodos son aplicables para cualquier magnitud de compactación, lo que va a variar de una obra a otra es el tamaño y potencia del equipo, ya que existe una gran diversidad en el tamaño de la maquinaria. La elección del equipo es fundamental para el buen desempeño y compactación de las diferentes capas existentes, por lo que se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones tales como:

- a) Tipo de suelo a compactar.
- b) Variación del suelo dentro de la obra.
- c) Magnitud e importancia de la obra a ejecutar.
- d) Especificaciones de proyecto para la compactación.
- e) Tiempo de ejecución de la obra.
- f) Costo de renta o compra del equipo.
- g) Características del lugar (espacio, pendientes, etc.).

En la figura 2.14 se muestra una relación entre el tipo de suelo a compactar y el equipo.



### 2.3.2 GRADO DE COMPACTACIÓN

El grado de compactación es un parámetro que determina el grado de acomodo de las partículas de un suelo, generalmente utilizado en campo para determinar la calidad de la compactación. El grado de compactación se puede expresar como la relación en porcentaje entre el peso volumétrico seco obtenido en campo y el peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio.

$$G_C = \frac{\gamma_d}{\gamma_{max}} \times 100$$

Donde :  $G_C$  = Grado de compactación en porcentaje.

$\gamma_d$  = Peso volumétrico seco obtenido en campo [kg/m<sup>3</sup>]

$\gamma_{m\acute{a}x}$  = Peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio [kg/m<sup>3</sup>]

El  $\gamma_{m\acute{a}x}$  se puede obtener en el laboratorio con el procedimiento que corresponda al tipo de material y método de compactación. Para ello la SCT recomienda los siguientes métodos para su obtención, así como de la humedad óptima.

- 1.- Por impacto, como la AASHTO estándar, AASHTO modificada 3 y 5 capas, Proctor SCT y los métodos de California y Texas.
- 2.- Por carga estática, como la prueba Porter.
- 3.- Por amasamiento, con el método de Hveem.
- 4.- Por vibración, con la mesa vibratoria.

El  $\gamma_d$  se obtiene en campo de acuerdo a los métodos de la trompa y arena y del cono y arena (para suelos que pasan la malla número 19), siendo más común el primero, su metodología es la siguiente.

- 1.- Verificar el peso específico de la arena de Ottawa a emplearse.
- 2.- Realizar una excavación en el lugar de la prueba, de dimensiones acordes al tamaño del material, y espesor de la capa para obtener entre 100 y 1000 gramos según el tipo de material, de acuerdo a la norma SCT 002-J.04-C2, y obtener su peso [kg].
- 3.- Determinar el volumen de la muestra con la arena de Ottawa [cm<sup>3</sup>].
- 4.- Determinar el peso específico húmedo del material [ $\gamma_m$ ].
- 5.- Determinar el contenido de agua  $w$  (%), secando el material en una parrilla.
- 6.- Calcular  $\gamma_d$  [kg./ m<sup>3</sup>] con la siguiente expresión.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + w} \times 100$$

## CAPÍTULO 3

**= CARPETA DE CONCRETO  
HIDRÁULICO =**



### 3.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO.

#### 3.1.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO

Para poder obtener un concreto de alta calidad es importante entender las propiedades del concreto en estado plástico, ya que estas determinan que tan fácil puede ser colocado, compactado y terminado. Además, esto puede afectar el costo y la calidad del concreto endurecido.

Las características principales del concreto plástico son:

- A) Revenimiento, Trabajabilidad, y Consistencia.
- B) Aire incluido en el concreto.
- C) Relación agua cemento.
- D) Tiempo de fraguado.

#### A) Revenimiento, Trabajabilidad y Consistencia.

##### Revenimiento.

El revenimiento es un indicador de la cantidad de trabajo requerido para colocar y consolidar el concreto adecuadamente. Esto se determina mediante una prueba conocida como "revenimiento", la cual consiste en colocar un volumen controlado de concreto fresco en un cono especial. Dado al estado plástico del concreto fluirá por efecto de la gravedad cuando el cono sea removido. La diferencia entre la altura original del cono y la del concreto después de remover el cono se denomina como "revenimiento". A mayor diferencia se dice que el concreto es muy plástico y requerirá poco esfuerzo para su consolidación, pero con un revenimiento bajo, se requerirá de mayor trabajo y atención para su colocación. En el capítulo cinco (pág. 147) se describe a detalle la metodología de esta prueba.



La selección de las especificaciones para el revenimiento está en función del tipo de equipo de pavimentación a utilizar. Para equipos de cimbra deslizable es necesario un revenimiento de  $6 \pm 2$ . En el caso de cimbra fija es común tener revenimientos en el orden de  $10 \pm 2$ .

### **Trabajabilidad**

El término Trabajabilidad en pavimentos de concreto se emplea para indicar las propiedades para el terminado del concreto, es decir, con qué facilidad cierra la superficie del concreto cuando se le pasa una llana.

Una mezcla trabajable es aquella en que la pasta hecha de cemento, agua y agregado fino puede llevarse a la superficie fácilmente. Tiene como característica que la superficie cierra fácilmente sin causar un sangrado excesivo, o la segregación del concreto. Cuando la mezcla presenta dificultad para cerrar se dice que es una mezcla dura.

A diferencia del revenimiento, no existe una prueba estándar para medir la trabajabilidad, una técnica de campo consiste en golpear con una varilla el montón de concreto usado en la prueba de revenimiento. Una mezcla trabajable se mantendrá unida en tanto que una mezcla dura se desintegrará.

Cuando se tiene una dosificación adecuada de la mezcla, un incremento en el revenimiento producirá un aumento en la Trabajabilidad y viceversa. Esto no aplica cuando la granulometría no es uniforme o si se tiene un agregado triturado con aristas en forma angular.

### **Consistencia**

Consistencia se refiere a que tan húmeda aparenta ser la mezcla, pasando de una mezcla rígida a una más fluida. Algunos términos comunes para describir la consistencia son, rígida o seca, plástica o trabajable, fluida o aguada.

Redondeando las tres propiedades anteriores, se puede ver que existe una interrelación entre ellas. En general, *una mezcla trabajable tiene un adecuado revenimiento y una consistencia plástica.*

## **B) Aire incluido en el concreto.**

El aire incluido en el concreto juega un papel muy importante, puesto que lo hace más trabajable y cohesivo.

Las pequeñas burbujas de aire ayudan a separar las partículas del agregado minimizando la interferencia entre ellas. Las burbujas de aire actúan como baleros sin fricción mejorando la Trabajabilidad. Al mismo tiempo retienen el exceso de agua en la mezcla, minimizando el sangrado.

El aire incluido debe ser en burbujas de aire muy pequeñas, redondas y uniformemente espaciadas. Cualquier burbuja que no cumpla estos requisitos será considerada como "Aire Atrapado". El aire atrapado se presenta en el concreto endurecido en forma de grandes vacíos de forma irregular. El propósito fundamental de compactar el concreto es forzar al aire atrapado a salir de la mezcla.

Existen muchos factores que impiden la correcta formación de un sistema de aire incluido, como:

- Dosis mayores de aditivo inclusor de aire.
- La utilización de otros aditivos.
- Tiempo y velocidad de mezclado inadecuada resulta en niveles más bajos de aire incluido.
- La forma y granulometría de los agregados. Las piedras de río tienden a incluir más aire que las trituradas. Porcentajes mayores de los tamaños de las arenas tienden a incrementar el contenido de aire.
- Temperatura y tiempo. Mayores temperaturas incrementan el aire incluido, con el tiempo el aire incluido decrece.
- Riqueza de la mezcla. Mezclas con mayor contenido de cemento retienen el aire incluido más fácilmente.

### **C) Relación Agua - Cemento.**

El agua en una mezcla de concreto actúa como agente dispersante. Esto significa que el agua provee de más espacio entre las partículas del agregado. También actúa como lubricante. Su efecto se ve reflejado en el aumento del revenimiento y la trabajabilidad.

La relación Agua-Cemento es la proporción del contenido total de agua en una mezcla con respecto al contenido total de cemento. Esta relación no indica el contenido total de agua en la mezcla, pero puede ser calculada si se conoce el contenido de cemento.

La relación Agua-Cemento en el concreto plástico es significativa porque al incrementar dicha relación se incrementan el revenimiento y el contenido de aire y viceversa.

### **D) Tiempo de fraguado.**

El concreto presenta dos tiempos de fraguado diferentes, el fraguado Inicial y el fraguado final. Para pavimentaciones sólo es importante considerar el tiempo de fraguado inicial, por que en este tiempo es cuando el concreto pierde sus propiedades plásticas no siendo ya trabajable ni compactable por medio del vibrado.

El tiempo de fraguado debe tenerse muy en cuenta dado que afectará en la pérdida de revenimiento y la trabajabilidad del concreto. Dicho de otra manera, el tiempo en que el concreto alcance su fraguado inicial es el tiempo que se tiene disponible para manejar y colocar el concreto.

El tiempo de fraguado se ve afectado por los mismos factores que afectan al revenimiento, la trabajabilidad y el contenido de aire. Cualquier factor que reduzca el revenimiento generalmente reducirá el tiempo de fraguado. Si los materiales tienen una temperatura alta, si se utilizan aditivos acelerantes, si el contenido de cemento es alto, si existen altas temperaturas durante la colocación, etc. el tiempo de fraguado puede acortarse.

En condiciones generales se puede establecer un periodo de dos horas a partir que el concreto es mezclado para que alcance su tiempo de fraguado inicial.

### 3.1.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

El concreto endurecido presenta características muy importantes derivadas de las propiedades en su estado plástico, como se ha visto anteriormente. Algunas de las propiedades del concreto endurecido son empleadas para determinar la calidad del concreto, otras afectan el diseño y construcción del pavimento y las restantes afectan la vida útil del mismo. Por tanto es importante establecer dichas propiedades.

- A) Resistencia
- B) Resistencia a la Compresión
- C) Resistencia a la Flexión.
- D) Calor de hidratación.
- E) Contracción y cambios volumétricos
- F) Durabilidad.

#### A) RESISTENCIA

La propiedad más importante del concreto endurecido es su resistencia. Esta se evalúa por medio de pruebas que pueden ser a los 3,7,14 y 28 días. A los 7 días el concreto puede alcanzar entre el 60 y 70% de su resistencia y a los 28 aproximadamente el 100%.

La resistencia del concreto se puede ver afectada o incrementada por los siguientes factores.

##### Curado.

Para alcanzar la resistencia esperada, el concreto debe mantenerse en un ambiente favorable donde no tenga una pérdida excesiva de agua. El curado consiste en proveer de una temperatura templada y una humedad suficientemente alta para que el cemento se hidrate eficientemente. Si el concreto se seca prematuramente la resistencia disminuirá.

La temperatura afecta también a la resistencia última. Un curado a temperaturas bajas tiende a retrasar la reacción de hidratación pero la hacen más eficaz. El concreto curado bajo estas condiciones gana resistencia más lentamente pero alcanza resistencias mayores que el concreto curado a temperaturas altas.

**Agregados.**

La calidad de los agregados influye en la resistencia del concreto, por ejemplo, agregados contaminados no permitirán una liga adecuada entre la pasta de cemento y los mismos. Si el agregado tiene una granulometría fina, puede requerir más agua en la mezcla para tener suficiente revenimiento incrementando el contenido de agua y por ende reduciendo la resistencia.

**Cemento.**

La calidad y el tipo de cemento tienen efecto en la calidad del concreto.

**Consolidación.**

Una inadecuada compactación reduce la resistencia del concreto. Una compactación que deja aire atrapado produce vacíos que generan un decremento en la resistencia del concreto.

**Relación Agua-Cemento.**

El factor más importante que afecta la resistencia del concreto es esta relación. La razón por la que la resistencia disminuye cuando la relación agua-cemento aumenta es por que el agua adicional de la mezcla crea vacíos en el concreto. Dado que mayor contenido de agua crea más vacíos, las mezclas con alta relación agua-cemento son menos resistentes.

**B) RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

Esta propiedad es la que más frecuentemente se utiliza para medir la calidad del concreto. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizan a intervalos de tiempo de 1,3,7,14,28,56 ó 90 días. El tiempo depende del tipo del uso del concreto. Para pavimentación el estándar aceptado es a los 7 días.

Esta prueba somete las muestras (que pueden ser cilindros o corazones extraídos de las losas) a una carga de compresión para observar su comportamiento. La metodología se explicará a detalle en el capítulo 5.

**C) RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.**

La resistencia a la flexión o módulo de ruptura,  $M_R$ , es otro indicador de la calidad del concreto. Este parámetro es la base para el diseño de la carpeta de concreto, pues una losa de pavimento puede considerarse como una viga en flexión con soporte uniforme, Aunque el

soporte de la losa sobre la subrasante es diferente al tipo de soporte utilizado en las pruebas a flexión, ésta prueba da una mejor representación de lo que pasa en el pavimento que la prueba a compresión.

La forma de los agregados afecta la resistencia a la flexión, agregados lisos y redondeados producen menor resistencia a la flexión que otros con textura muy rugosa. De la misma manera, un agregado que produce una alta resistencia a la compresión puede no producir una resistencia alta a la flexión.

La edad del concreto y la angulosidad del agregado afectan la resistencia a la flexión en forma diferente que a la resistencia a compresión. Por esta razón no existe una relación simple entre las resistencias a la compresión y a la flexión.

#### **D) CALOR DE HIDRATACIÓN.**

El calor de hidratación, es el calor generado cuando el cemento y el agua reaccionan. La cantidad de calor y la razón por la cual es generado depende de las propiedades físicas y químicas del cemento, la cantidad de éste en la mezcla y la temperatura de curado.

El calor de hidratación es importante cuando se tienen cambios bruscos de temperatura, cuando la pavimentación se realiza en un día muy caliente seguido por una noche muy fría o una lluvia muy fría. El cambio brusco de temperatura puede provocar un agrietamiento aleatorio del pavimento.

#### **E) CONTRACCIÓN Y CAMBIOS VOLUMÉTRICOS.**

Cuando el concreto endurece, experimenta ciclos de contracción y expansión con los cambios de temperatura y humedad

Cuando una losa trata de expandirse puede ser detenida por una losa contigua, por el estribo de un puente o por la fricción entre la losa y la subbase, debido a esto la losa sufre un esfuerzo de compresión. El concreto es resistente a la compresión, por lo que es capaz de soportar dicho esfuerzo.

En el caso contrario, la losa al contraerse experimenta un esfuerzo de tensión, y ya que el concreto es menos resistente a la tensión es probable que se agriete al estar

restringida su contracción. Por tanto se utilizan juntas de contracción para controlar el agrietamiento.

Existen dos tipos de contracción muy comunes en pavimentos de concreto hidráulico: contracción por secado y contracción por temperatura.

#### **Contracción por secado.**

Cuando el vapor de agua es liberado del concreto este experimenta un secado que causa la contracción del concreto. La contracción por secado es afectada por la cantidad de agua por unidad de volumen del concreto en estado plástico. Si la cantidad de agua presente en el concreto es lo menor posible, la contracción por secado puede ser controlada.

Empleando un buen método de curado, es posible retardar e incluso detener la pérdida de humedad del concreto.

#### **Contracción por temperatura.**

La contracción por temperatura es el resultado del enfriamiento del concreto endurecido. Si el concreto no tiene la suficiente resistencia a la tensión para resistir los esfuerzos generados por dicha contracción se agrietará.

Los efectos combinados de contracción por secado y por temperatura son mayores durante la edad temprana del pavimento.

### **F) DURABILIDAD.**

El concepto durabilidad en un pavimento abarca el resistir los efectos naturales del concreto, vistos anteriormente, así como los esfuerzos generados por el medio ambiente y el causado por el paso del tráfico.

El factor que más afecta la vida útil de un pavimento es la presencia de ciclos de congelación y deshielo junto con la calidad del agregado y la cantidad de aire incluido. Por tanto para asegurar la durabilidad del concreto es necesario monitorear cuidadosamente la calidad y limpieza de los agregados, la relación agua-cemento, el contenido de aire, el acabado y el curado.



### 3.1.3 ADITIVOS

Los aditivos son compuestos que mejoran una o más propiedades del concreto, ya sea en estado plástico o endurecido. Los aditivos ayudan a los pavimentos de concreto a ser de mayor calidad.

Los aditivos pueden ser de dos tipos: químicos ó minerales. Los aditivos del tipo químico corresponden a sustancias solubles en el agua. Los aditivos minerales consisten de roca pulverizada, de carbón negro usado para dar color al concreto, o puzolanas como las cenizas volátiles.

El uso de aditivos en trabajos de pavimentación se debe a que ayudan a mejorar la trabajabilidad del concreto, aceleran el ritmo de ganancia de resistencia, retardan o aceleran el fraguado inicial, incrementan la resistencia, controlan el sangrado e incrementan la durabilidad del concreto.

Los principales aditivos son:

**Inclusores de aire.** Son utilizados para producir burbujas muy pequeñas de aire espaciadas uniformemente en la mezcla de concreto. Este tipo, mejora la trabajabilidad del concreto fresco y da mayor resistencia al concreto endurecido para soportar los ciclos de congelamiento y deshielo.

**Reductores de agua.** Son aditivos químicos que minimizan las cargas eléctricas entre las partículas de cemento dispersándolas. Este efecto de dispersión de partículas de cemento las distribuye uniformemente en la mezcla, reduciendo la cantidad de agua requerida. Se tienen aditivos reductores de agua que retardan o aceleran el tiempo de hidratación del cemento. Este tipo es utilizado para pavimentaciones bajo climas muy calurosos para prevenir agrietamientos por contracción.

**Retardantes del fraguado.** Los aditivos retardantes pueden retardar significativamente el tiempo de fraguado del concreto. Se usan para retardar el fraguado inicial cuando se cuele en climas cálidos.

**Acelerantes del fraguado.** Los aditivos acelerantes son muy útiles cuando se requiere que el concreto alcance el fraguado inicial y/o alta resistencia rápidamente. Generalmente se emplean en climas fríos, debajo de 7° C, para acelerar el fraguado del concreto y para minimizar el tiempo que el concreto debe ser protegido contra las temperaturas de congelamiento. El más común de este tipo es el cloruro de calcio.

**Reductores de agua de alto rango.** Los aditivos reductores de alto rango son conocidos también como superfluidificantes, pues mejoran notablemente la trabajabilidad del concreto y aumentan drásticamente el revenimiento del mismo. Generalmente no se emplean en trabajos de pavimentación pues concretos de muy alto revenimiento no son convenientes para su colocación, y además de que a pesar de su fluidez el tiempo para trabajar el concreto se reduce notablemente.

**Aditivos puzolánicos.** Las puzolanas pueden ayudar a mejorar la trabajabilidad del concreto, particularmente cuando los agregados finos son deficientes en material fino. La puzolana provee material fino adicional que ayuda a separar las partículas de agregado grueso, haciendo la mezcla más trabajable. Generalmente las puzolanas son añadidas como reemplazo de un cierto porcentaje de cemento.

Los aditivos pueden ser utilizados para obtener un concreto de mejor calidad, pero si no son usados de forma adecuada pueden producir un concreto de baja calidad.

Los aditivos normalmente traen las instrucciones del fabricante para su dosificación y forma de empleo, puesto que la mayoría de los aditivos son incompatibles con otros cuando se mezclan en forma concentrada, por lo que generalmente se aplican al concreto en forma separada.

La mayoría de los aditivos afectan la cantidad y la calidad de la inclusión de aire en el concreto. Por tanto se recomienda realizar pruebas de laboratorio de los aditivos antes de aplicarlos en la obra.

### 3.1.4 PROPORCIONAMIENTO

El diseño de la mezcla de concreto es generalmente un procedimiento de laboratorio, de tal forma que no es de aplicación directa en el procedimiento constructivo de un pavimento. Normalmente el diseño del concreto es responsabilidad de la compañía que lo suministra. Sin embargo, es necesario conocer su metodología y aspectos básicos para poder hacer recomendaciones para el mejoramiento de la mezcla.

Retomando lo anterior, es importante mencionar que en el 95% de los trabajos de pavimentación, las primeras cantidades de concreto suministrado no cumplen con las especificaciones requeridas, para lo cual se van realizando ajustes en la dosificación hasta encontrar la mezcla adecuada que cumpla con las especificaciones del proyecto, y proporcione las condiciones adecuadas para su correcta colocación.

Para la realización de una buena dosificación se deben tener en mente tres objetivos que deberá cumplir el diseño.

- 1) El concreto en estado plástico deberá tener un revenimiento y una trabajabilidad aceptable, de manera que pueda ser colocado fácilmente.
- 2) El concreto endurecido deberá tener resistencia y durabilidad adecuadas.
- 3) El concreto deberá ser tan económico como sea posible.

Para alcanzar estos objetivos se deben tener en cuenta varios factores.

- El contenido de cemento deberá ser suficiente para garantizar que cada partícula de agregado estará recubierta pero no será tan alto que encarezca excesivamente la mezcla.
- La relación agua-cemento deberá ser tan alta como para garantizar que la mezcla sea trabajable, sin reducir la resistencia en forma inaceptable.
- La proporción de los agregados seleccionados deberá ser aquella que haga de la mezcla la más económica posible, sin causar problemas de trabajabilidad.
- El contenido de aire deberá ser adecuado para garantizar un concreto durable.
- Los aditivos empleados para mejorar las características de la mezcla, deberán estar en función de no encarecer mucho el concreto.

Encontrar el diseño óptimo, implica experimentar con varias mezclas de concreto hasta que las proporciones finales son desarrolladas.

Existen varios métodos para el diseño de mezclas de concreto, pero solamente hay un método para proporcionarlás. Todo concreto es proporcionado por el peso de los materiales, posteriormente pueden ser ajustados o balanceados usando cualquiera de los siguientes dos métodos.

- ◆ Balanceo basado en un peso asumido del concreto
  
- ◆ Balanceo basado en el volumen absoluto

Como se mencionó anteriormente, existen muchos métodos para el diseño de la mezcla, pero uno de los más versátiles es el propuesto por la ACI (American Concrete Institute). Este método está integrado por una serie de siete pasos que ajustan las características de los materiales disponibles en una mezcla de concreto que sea la más adecuada para los requerimientos de un proyecto en específico. Estos pasos son:

1. Estimar el revenimiento requerido.
2. Selección del tamaño máximo del agregado.
3. Estimar el contenido de agua y aire requeridos.
4. Selección de la relación agua-cemento.
5. Cálculo del contenido de cemento.
6. Estimación del contenido de agregado grueso.
7. Estimación del contenido de agregado fino.

Una vez realizados los pasos anteriores se procede a balancear la mezcla por cualquiera de los dos métodos mencionados, peso o volumen.

Debido a que el desarrollo de cada uno de los 7 pasos del método del ACI escapa a los alcances de este trabajo, sólo nos limitaremos a mencionarlos y dar como referencia la norma ACI 211.1-77, donde se encuentran desarrollados a detalle.

### 3.2 JUNTAS.

En el diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico, un elemento imprescindible son las Juntas, su importancia nace de la necesidad de un sistema para controlar el agrietamiento transversal y longitudinal del concreto. El agrietamiento se produce por los efectos combinados de la contracción por secado del concreto, los cambios de humedad y temperatura, las cargas transmitidas por el tráfico, la restricción de la sub-base, y ciertas características de los materiales. Las juntas fuerzan a que las grietas se formen en lugares predeterminados, controlando así el agrietamiento aleatorio.

En los pavimentos de concreto para carreteras las juntas sirven para:

- ☛ Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal inducido por contracción confinada y por los efectos combinados de ondulación confinada, alabeo confinado y cargas aplicadas.
- ☛ Dividir el pavimento en módulos de construcción prácticos.
- ☛ Absorber movimientos de la losa.
- ☛ Proporcionar la transferencia de cargas deseada.
- ☛ Formar una caja para aplicar el sello de juntas.

El diseño adecuado de la junta y la construcción correcta, son actividades críticas en el comportamiento general del pavimento. Muchos problemas derivados de la pérdida de la capacidad de servicio del pavimento se han presentado en juntas mal diseñadas.

Para poder entender mejor el comportamiento de los agrietamientos, en los siguientes puntos se trata de explicar como se presentan, así como las opciones para su control.

### 3.2.1 DESARROLLO NATURAL DE GRIETAS.

#### **Contracción**

La mayor parte del agrietamiento anticipado en el concreto, tiene lugar a edades muy tempranas en la vida del pavimento. Una de las causas principales del agrietamiento son los cambios de temperatura. El calor de hidratación y la temperatura del pavimento generalmente alcanzan un valor máximo poco tiempo después de que ha ocurrido el fraguado final. Después de llegar al máximo, la temperatura del concreto disminuye debido a la menor temperatura del aire durante la primera noche en la vida del pavimento.

Otro factor que contribuye a la contracción inicial, o contracción plástica, se debe a la reducción de volumen inducida por la pérdida de agua de mezclado. Durante la consolidación y el endurecimiento, la mayor parte del agua sobrante asciende por sangrado hacia la superficie y se evapora. Al perder agua, el concreto ocupa un menor volumen.

La fricción con la subrasante y con la subbase contrarresta la contracción del pavimento, debido a la reducción de volumen y de temperatura. Esta resistencia induce esfuerzos de tensión dentro del concreto. Si no se toman en cuenta, los esfuerzos de tensión producen un patrón de agrietamiento transversal.

El espaciamiento inicial de las grietas por contracción plástica varía entre los 12 m y los 45 m dependiendo de las propiedades del concreto, de su espesor, de la fricción con la subbase y de las condiciones climáticas durante la colocación y posterior a esta.

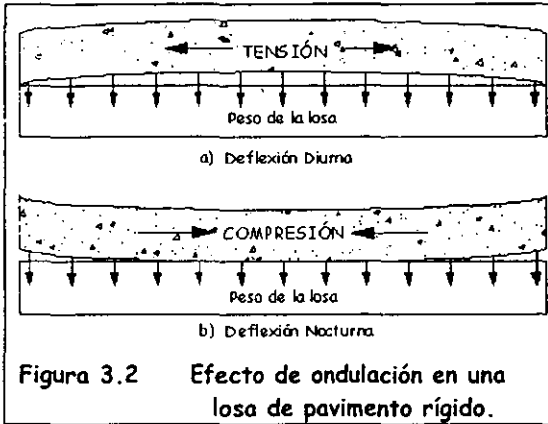
La ocurrencia y espaciamiento de las grietas tempranas es algo importante. La separación del agrietamiento es menor cuando se tienen sub-bases rígidas estabilizadas de tal forma, que cada grieta en particular se abre menos. El espaciamiento entre grietas puede ser mucho mayor cuando el concreto se coloca sobre sub-bases granulares o sobre la subrasante natural. Al presentarse una separación inicial mayor se puede esperar que las grietas se abran más y tengan mayor movimiento.

#### **Gradientes.**

Los esfuerzos a causa de los gradientes de temperatura y humedad pueden contribuir al agrietamiento. Estos esfuerzos ocurren después del endurecimiento del concreto. La parte

superior expuesta al aire, presenta variaciones diarias de temperatura y contenido de agua. Estos cambios son mucho menores en la parte inferior del pavimento.

La ondulación de una losa es el resultado de los gradientes de temperatura. La



ondulación tiene lugar cuando la parte superior de la losa tiene una mayor temperatura que el fondo (durante el día), la superficie se expande más que la parte inferior dando lugar a una predisposición a flexionarse. El peso de la losa se opone a la acción de ondulación e induce esfuerzos de tensión hacia la parte inferior, así como de compresión a la parte superior de la losa. Durante la noche, se invierte el

patrón de generación de esfuerzos, los esfuerzos de tensión se desarrollan en la parte superior mientras que los de compresión se concentran en la parte inferior de la losa.

El alabeo por cambios de humedad es un factor que se presenta para contrarrestar la ondulación diurna. La parte superior de una losa es generalmente más seca que la inferior. Una disminución en el contenido de agua da lugar a contracción, mientras que un aumento de la humedad induce a expansiones. El diferencial tiende a desarrollar esfuerzos de compresión en la base de la losa, los cuales contrarrestan la carga y la ondulación diurna desarrollada por los esfuerzos de tensión.

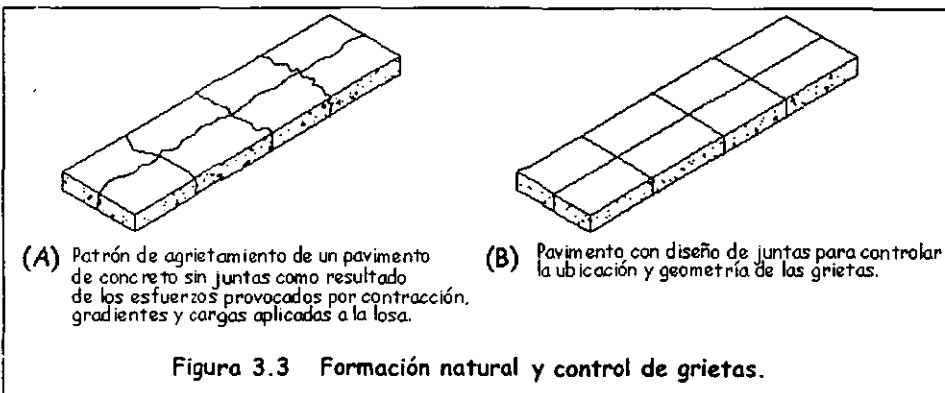
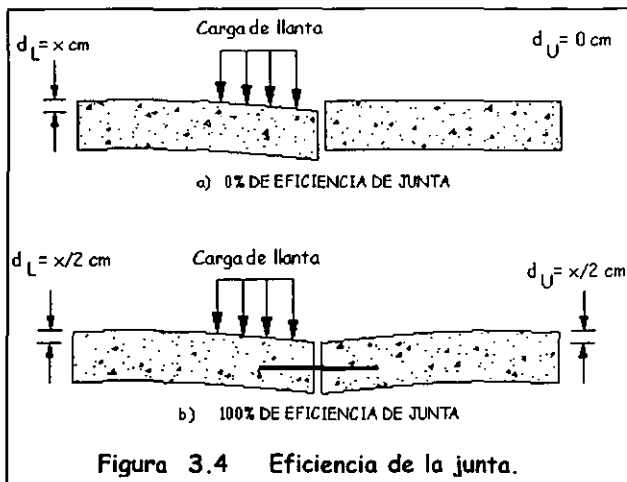


Figura 3.3 Formación natural y control de grietas.

### 3.2.2 EFICIENCIA DE LAS JUNTAS.

La transferencia de carga, es la capacidad de una junta para transmitir parte de una carga aplicada desde un lado de la junta hasta el lado opuesto. Se cuantifica en función de la eficiencia de la junta. Si una junta tiene una eficiencia de 100%, transmitirá la mitad de la carga aplicada. Una eficiencia de cero, significa que ninguna carga se transmite a través de la junta. La evaluación en campo de la transferencia de carga, se realiza midiendo a cada lado de una junta las deflexiones inducidas por una carga aplicada. La siguiente ecuación se usa para estimar la eficiencia "E" de la junta:



$$E = \frac{2d_U}{d_L + d_U} \cdot 100$$

Donde:

$d_L$  = deflexión del lado cargado

$d_U$  = deflexión del lado descargado

La transferencia de carga es necesaria para lograr un buen comportamiento de los pavimentos de concreto con juntas. La transferencia adecuada de carga disminuye las deflexiones, reduce la falla, el despostillamiento y la rotura de las esquinas. Se considera adecuada una eficiencia de la junta del 75% o mayor, para el caso de las cargas de camiones de magnitud mediana y grande.

Los siguientes factores contribuyen a la transferencia de carga a través de juntas:

- A. Trabazón entre los agregados, acción de entrelazado entre partículas de agregado en el paramento de la junta.



- B. Dispositivos de transferencia mecánica de cargas, tipo pasajuntas.
- C. Sub-bases estabilizadas.

#### **A) Trabazón entre los agregados.**

La interacción por cortante da paso a la acción del entrelazado de las partículas que forman los agregados a lo largo de las caras de las grietas en las juntas, que se forman por debajo de una ranura cortada con disco. Resulta más efectiva en losas construidas con juntas muy cercanas entre sí, sujetas a volúmenes bajos de tráfico de camiones.

En un estudio realizado por la Federal Highway Administration, se concluyó que los siguientes factores aumentan la transferencia de carga debida a la trabazón entre agregados y minimizan la falla:

- Losas de mayor peralte (mayor superficie de enlazamiento se traduce en mejor transferencia de carga).
- Espaciamiento menor entre las juntas (entre 4.50m ó menos).
- Apoyo en los bordes (acotamiento de concreto ligado o ampliación de carriles).
- Sub-bases más rígidas.
- Suelos gruesos de subrasantes (drenaje).
- Drenaje mejorado (sistema de tuberías de recolección/sub-bases permeables).

La longitud de las losas afecta la apertura de las juntas y la eficiencia de la trabazón entre agregados. Mediciones típicas hechas en el campo muestran una eficiencia en las juntas del orden del 58%, en el caso de pavimentos de concreto sin pasajuntas con edades de 15 a 25 años.

El tamaño de las partículas de los agregados es un factor crítico en la transferencia de cargas. Los agregados pequeños (12.7 mm) proporcionan una trabazón marginal. Las

partículas mayores de 25 mm ayudan a mantener la transferencia de carga, sobre todo en las aberturas más grandes de juntas.

En general, la piedra triturada se comporta mejor que la grava natural, porque las caras de las trituradas crean un aspecto más áspero. Un paramento rugoso se desgasta más lentamente que una cara tersa y redondeada formada por agregados naturales. De la misma manera, el agrietamiento temprano aumenta la rugosidad de la cara de la junta, porque las grietas se forman alrededor de los agregados en lugar de a través de ellos.

Los estudios han demostrado que, con juntas cercanas entre sí, la trabazón entre los agregados induce un comportamiento aceptable de la junta cuando el volumen de tráfico de camiones es bajo (en un rango de 80 a 120 camiones por día). Esto varía en función del tipo de agregado y de las condiciones de apoyo. Otros resultados, indican que se necesitan cuando menos de cuatro a cinco millones de Cargas Equivalentes de Eje Sencillo (ESAL) de 8172 Kg. (18,000 Libras) según la norma AASHTO, para producir una falla objetable.

## **B). Transferencia mecánica de cargas.**

### **Pasajuntas**

La trabazón entre los agregados por sí misma, no proporciona una transferencia eficiente de carga para lograr un buen comportamiento a largo plazo en la mayoría de los pavimentos para carreteras sometidos a tráfico pesado.

Se deberán usar pasajuntas para proporcionar una transferencia mecánica adicional de carga, cuando el tráfico de camiones sobrepase los 120 vehículos por día o cuando el tráfico de diseño acumulado exceda las cuatro o cinco millones de unidades AASHTO ESAL. Típicamente, este nivel de tráfico de vehículos pesados requerirá una losa de 20 cm o más de espesor.

Las pasajuntas son barras de acero redondo liso que se colocan a través de las juntas para transferir las cargas sin restringir el movimiento horizontal de la junta. La longitud de las barras varía generalmente entre 38 y 60 cm. (15"-24"), el diámetro desde 1/2" hasta 2", en función del espesor de la losa. Resulta adecuada una longitud de empotramiento de seis veces el diámetro de la barra para la transferencia de la carga.

Las barras se colocan generalmente a la mitad del espesor de la losa y se separan 30 cm entre sí. Sin embargo, algunos resultados de investigaciones muestran que con un espaciamiento no uniforme se consigue un comportamiento satisfactorio en pasajuntas de mayor diámetro colocadas en losas cortas.

Las pasajuntas pueden ser colocadas por medio de inserción mecánica o de dispositivos de transferencia de carga (canastillas para pasajuntas), estas dos últimos medios dependen del tipo de máquina pavimentadora que se utilice.

Los dispositivos para pasajuntas son marcos de alambre, que sostienen a las barras en el lugar previsto. Con frecuencia se les conoce como canastillas. El fabricante alterna los extremos en los cuales se suelda con punteo cada una de las pasajuntas al armazón del alambre. El otro extremo de cada pasajunta queda en libertad para moverse. Los soportes de las pasajuntas se deben fijar a la sub-base para evitar movimientos y volcamiento durante la pavimentación. Un mecanismo eficiente de fijación es una grapa que se coloca sobre los alambres de la cuerda inferior, la grapa se envuelve alrededor de los alambres y se clava al terreno.

Las barras necesitan una buena lubricación para permitir el movimiento del concreto a lo largo de la superficie de la barra. La falta de un buen antiadherente podría generar esfuerzos excesivos en la junta y dar lugar a falla en la misma. La aplicación de un lubricante a base de parafina, de una emulsión asfáltica, de aceite desmoldante para cimbra, grasa estándar o pintura acrílica constituyen una lubricación excelente. Se debe lubricar toda la longitud de la pasajunta para garantizar que se cumplen las especificaciones de resistencia a la extracción. Las pasajuntas deben satisfacer la especificación A615 de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Como ya se ha mencionado, las pasajuntas disminuyen la deflexión, reducen los esfuerzos en la losa de concreto, minimizan el potencial de falla, así como el efecto de bombeo de finos y la rotura en las esquinas. Esto es válido en el caso de tableros cortos y separaciones mayores entre juntas. Las evaluaciones del comportamiento de pavimentos de concreto para carreteras en servicio, han mostrado que el empleo de pasajuntas reduce la falla.

Las pasajuntas aumentan la vida útil del pavimento, al reducir las deflexiones y los esfuerzos en la losa al transmitir eficientemente la carga a través de la junta. Por ejemplo,

una losa de 25 cm con pasajuntas con 80% de transferencia de carga, tendrá la misma deflexión que una losa de 30 cm sin pasajuntas, con solo el 40% de transferencia de carga.

Es importante remarcar que la trabazón entre agregados también contribuye a la transferencia de carga cuando se emplean barras pasajuntas. Por lo tanto, no se deben hacer a un lado completamente las consideraciones que puedan mejorar el acomodo entre partículas cuando se recurre a pasajuntas. Las partículas grandes de agregados triturados y las sub-bases más rígidas también ayudan a mejorar el comportamiento de juntas con barras pasajuntas.

### **C). Sub-bases estabilizadas.**

También hay otros elementos, como la sub-base, donde la mayor capacidad de apoyo permite un mejor comportamiento de la junta. Los estudios han demostrado que la resistencia de la sub-base afecta significativamente la transferencia de carga a largo plazo. Las sub-bases estabilizadas con cemento y las hechas a base de concreto pobre, producen un mejor apoyo de la losa, disminuyendo las deflexiones y aumentando la vida útil por fatiga.

### **3.2.3 TIPOS DE JUNTAS.**

Los sistemas de construcción de juntas se basan en el principio de controlar las grietas que aparecen por causas naturales en los pavimentos de concreto. Es decir, las juntas se colocan en el pavimento para controlar la ubicación y geometría del agrietamiento.

Los tipos de juntas más comunes en pavimentos de concreto son:

- A) Juntas transversales de contracción
- B) Juntas transversales de construcción
- C) Juntas transversales de dilatación/aislamiento
- D) Juntas longitudinales de contracción
- E) Juntas longitudinales de construcción

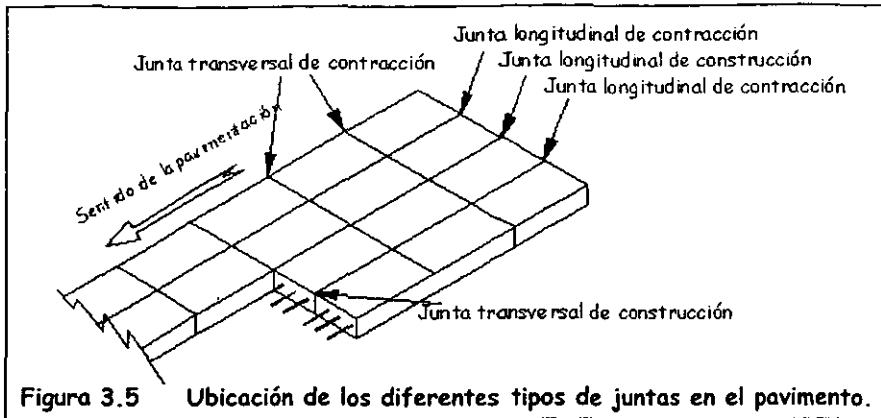


Figura 3.5 Ubicación de los diferentes tipos de juntas en el pavimento.

**A) JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN.**

Son juntas construidas transversalmente al eje de trazo separadas entre sí, para controlar el agrietamiento inducido por esfuerzos causados por contracción y por cambios diferenciales de temperatura y humedad. Típicamente, las juntas de contracción están orientadas en ángulos rectos con la línea central y la orilla del pavimento. En algunos diseños se esvian las juntas de contracción para ayudar a reducir la carga dinámica a

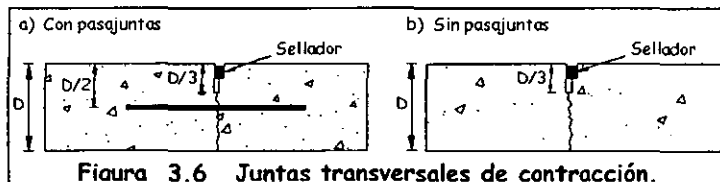


Figura 3.6 Juntas transversales de contracción.

través de la junta, así como para eliminar la carga simultánea transmitida por cada rueda.

**Esviajamiento.** Las juntas esvijaadas constituyen una variación de las juntas transversales de contracción, a menudo se usan en los pavimentos sin refuerzo y sin pasajuntas. Una junta esvijaada es una junta transversal de contracción inclinada de 1.20 m en 7.20 m, es decir, con un ángulo de  $9.46^\circ$ . La orientación del esvijaamiento es tal, que el ángulo obtuso en la orilla exterior del pavimento coincide con el lado de salida de la junta. Cada una de las ruedas de un eje cruza una junta esvijaada en un tiempo distinto. Esta alternancia de cargas reduce los

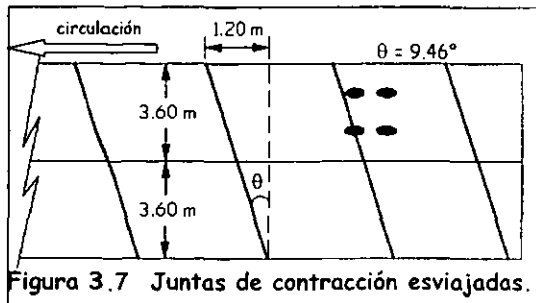


Figura 3.7 Juntas de contracción esvijaadas.

esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto. También disminuye el riesgo del efecto de bombeo y falla.

El esviajamiento no es un sustituto de las pasajuntas o de la transferencia mecánica de carga. El esviajamiento es efectivo para juntas sin pasajuntas en rutas de bajo volumen de tráfico. En pavimentos que soporten un tráfico de camiones considerable, se recomienda el uso de pasajuntas para tener una adecuada transferencia de carga. Cuando el proyecto especifica el uso de pasajuntas, el esviajamiento de la junta queda como opción para el contratista.

## **B) JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN.**

Son juntas que se instalan al terminar la operación diaria de pavimentación o al ocurrir cualquier otro tipo de interrupción (por ejemplo, en el aproche de un puente, fallas en el suministro de concreto, etc.). En campo se suelen llamar a las juntas de construcción como "cabeceros". Normalmente un cabecero es el lugar en que se reanudarán los trabajos de pavimentación al día siguiente.

Estas juntas se colocan de ser posible en el lugar donde se ha proyectado tener una junta de contracción. En caso contrario, la colocación debe hacerse dentro del tercio medio del tablero proyectado. Las juntas transversales de construcción siempre se orientan de modo perpendicular al eje del trazo, aun cuando las juntas de contracción estén esviajadas.

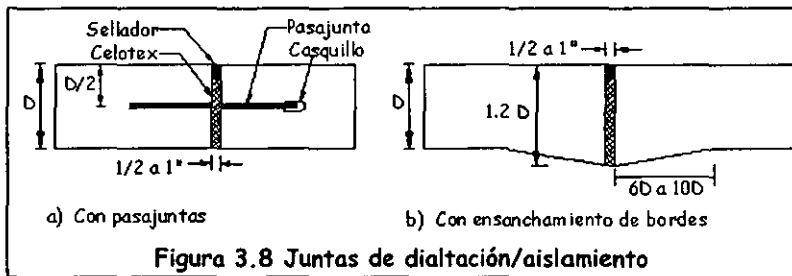
Las juntas transversales de construcción son juntas a tope y no se benefician de la trabazón entre partículas del agregado. En aquellos casos en que la junta de construcción se coloca en una posición prefijada o cuando el pavimento no está adyacente a una losa existente de concreto, se necesita instalar pasajuntas para inducir la transferencia de carga. Para el dimensionamiento y colocación de las pasajuntas en este tipo de junta, se aplican las recomendaciones dadas para juntas reforzadas de contracción (3.2.2 B).

## **C) JUNTAS TRANSVERSALES DE DILATACIÓN/JUNTAS DE AISLAMIENTO.**

Son aquellas que se colocan en lugares que permiten la expansión del pavimento, sin dañar las estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, muros, etc.) o el propio pavimento.

El propósito de una junta de dilatación depende si se necesita o no, transferencia de carga. Las juntas de dilatación que se usan para aislar una estructura alineada como es el caso de un puente, debe contar con pasajuntas para aumentar la transferencia de carga y la eficiencia de la junta (F3.8 a). Sin embargo, en intersecciones asimétricas y en rampas se deben eliminar las pasajuntas de transferencia, para que puedan tener lugar los movimientos diferenciales horizontales sin dañar el pavimento contiguo. Las juntas de dilatación o de aislamiento deben tener un ancho comprendido entre 19 y 25 mm. Para mayores anchuras se pueden presentar movimientos excesivos.

En las juntas de dilatación, un material de relleno de juntas preformado ocupa el espacio entre la subbase o subrasante y el sellador propio de la junta, normalmente celotex.



El relleno de juntas se remete en un rango de 25 mm por debajo de la superficie y debe abarcar la profundidad total y el ancho

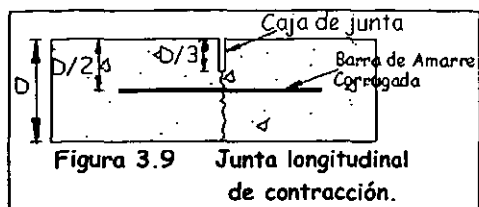
de la losa. El material de relleno de juntas debe permitir un 50 % de compresión y no tener contracción, no ser absorbente ni reactivo, difícil de extruir y flexible.

**Juntas de aislamiento.** Para el caso de juntas de dilatación sin pasajuntas, las caras de las juntas se deben engrosar para reducir los esfuerzos por cargas, desarrollados a lo largo del fondo de la losa (F3.8 b). Las losas contiguas deben engrosarse un 20 % a lo largo de la junta de dilatación. La transición en el espesor se desvanece con una pendiente de 6 a 10 veces el espesor del pavimento. Por ejemplo, una transición en el espesor de 25 cm a 30 cm en el borde engrosado tendría lugar a lo largo de una distancia de 1.50 a 2.50 m.

#### D) JUNTAS LONGITUDINALES DE CONTRACCIÓN.

Son las juntas que dividen los carriles de tráfico y controlan el agrietamiento en lugares donde se colocan dos o más secciones de un mismo carril simultáneamente. Las juntas longitudinales resultan necesarias cuando el ancho de la losa sobrepasa 4.50 metros.

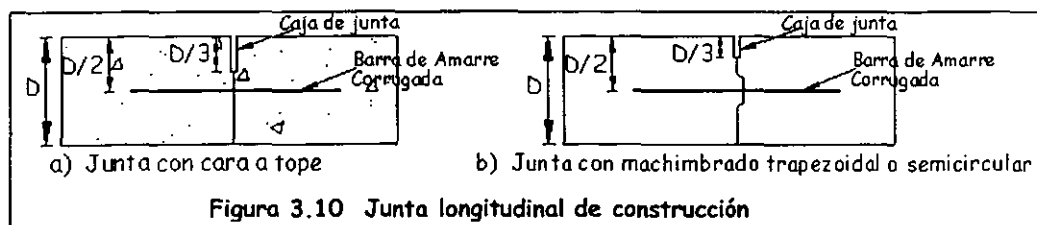
Las juntas longitudinales deben cortarse a una profundidad correspondiente a la tercera parte del espesor de la losa. Un corte inicial con disco de 3.2 a 9.5 mm de ancho, será suficiente para alojar la mayoría de los materiales selladores. El factor de forma de la caja de la ranura no resulta crítico en este caso debido a los pequeños movimientos que ocurren en estas juntas. Las dimensiones típicas de la caja varían entre 6.3 y 9.5 mm de ancho por 32 mm de profundidad.



La transferencia de carga en las juntas longitudinales generalmente se alcanza a través de la trabazón entre las partículas del agregado. Para conservar la trabazón con frecuencia se usan barras de amarre para mantener cerradas las juntas longitudinales. Las separaciones de las barras varía en función del espesor del pavimento y con la distancia de la junta al borde libre más próximo.

### E) JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCIÓN.

Las juntas longitudinales de construcción son aquellas que sirven para unir carriles que se pavimentan con pasadas separadas. Se incluyen los acotamientos de concreto y los carriles de circulación. En este tipo de juntas la transferencia de cargas se consigue por medio de machimbre y/o anclas (figura 3.10 b). La geometría de las juntas machimbradas puede ser trapezoidal o en semicírculo (figura 3.11).



Para conservar la transferencia de carga, siempre serán convenientes las varillas de sujeción, o de amarre (varilla corrugada), cuando se recurre a las juntas machimbradas. Las varillas de sujeción sostienen entre sí a las partes macho y hembra del machimbrado. Los requisitos para las varillas de sujeción en juntas de construcción longitudinales con machimbrado, son similares a las correspondientes a las juntas longitudinales de contracción.



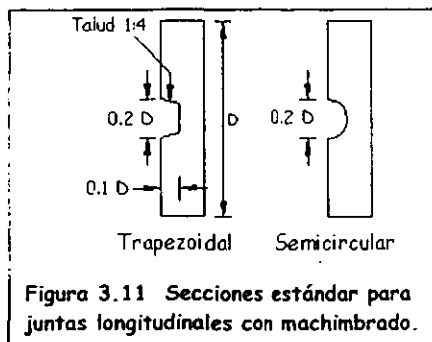


Figura 3.11 Secciones estándar para juntas longitudinales con machimbrado.

Ya que el tráfico no está constantemente cruzando estas juntas longitudinales, no es necesario colocar barras pasajuntas para lograr apoyo estructural en los bordes. Resultan adecuadas las varillas corrugadas de pequeño diámetro (#4 o #5), pero la separación entre barras se debe reducir al intervalo de 30 a 60 cm para transmitir eficientemente la carga y reducir los esfuerzos y deflexiones en la losa.

### 3.2.4 SELLO DE JUNTAS.

Para prevenir la entrada de agua y otros materiales a la junta hecha para controlar el agrietamiento, los cortes son sellados con algún material especial para tal efecto.

Previo al sellado de la junta, esta deberá ser limpiada de cualquier material ajeno que impida o decremente la adherencia del sellador a las paredes. La limpieza puede realizarse con agua, aire a presión, sand-blast, etc., o con la combinación de algunos de los métodos mencionados, dependiendo de las condiciones de la junta, especificaciones del proyecto y recomendaciones del fabricante del sellador.

Existen muchos tipos y marcas de materiales para el sellado. La clasificación más simple los divide como líquidos y preformados.

Los *selladores líquidos* generalmente son de un solo componente, autonivelables y se aplican en frío. En base a la calidad del producto dependerá su capacidad de adhesión a las paredes de la junta para obtener un buen sellado.

Los *sellos preformados*, también conocidos como a compresión, son empleados para el sello de juntas de aislamiento, las cuales ejercen un doble efecto de junta de contracción y expansión. Normalmente los sellos de compresión son fabricados de neopreno extruido. Para su instalación requieren de un sello líquido, cuya función principal es lubricar las paredes de la junta, pues para su instalación se necesita que entre a un nivel de compresión entre el 20 y el 50%. Basándose en la experiencia los sellos a compresión que han mostrado un mejor comportamiento son los tienen como mínimo 5 celdas.

Para la selección del tipo de sellador más adecuado es importante tomar en cuenta las siguientes propiedades del sellador: elasticidad, bajo módulo de deformación, adhesión, cohesión, compatibilidad con los materiales de su entorno y resistencia a los agentes atmosféricos.

Un elemento muy importante que interviene en el sellado de la junta con un sellador líquido es la cintilla o barra de respaldo (Backer rod, por su nombre en inglés), esta es una tira de forma circular hecha de espuma de polietileno. Su papel es básicamente económico, pues impide que el sellador fluya hasta el fondo de la junta, optimizando la cantidad de sellador empleado y definiendo el factor de forma de la junta. Su instalación se realiza antes de colocar el sello líquido, se recomienda que el diámetro de esta sea 25% mayor que el ancho de la caja de la junta.

Para tener un buen comportamiento a largo plazo del sellador se requiere que la junta este hecha con un factor de forma apropiado para que éste resista adecuadamente los cambios inducidos durante la expansión y la contracción del pavimento. El factor de forma es el cociente entre la profundidad y el ancho del sellador vertido en la caja de la junta. La figura 3.12 a) y b) muestra los factores de forma más recomendados para los selladores líquidos. De acuerdo con la figura 3.12 c) el diseño del factor de forma debe incluir dejar un espacio entre el nivel del sellador y el del pavimento, de 6 mm aproximadamente, para evita futuros problemas de extrusión.

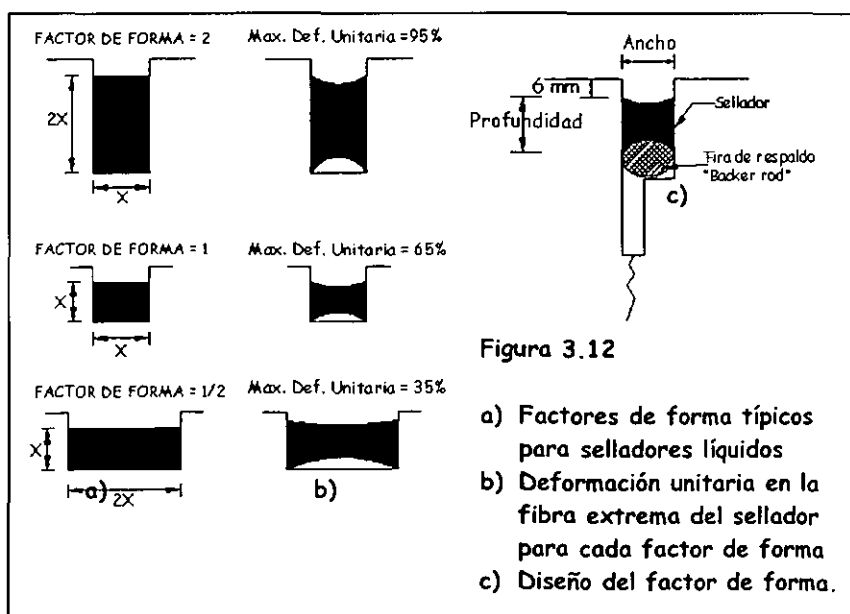


Figura 3.12

- Factores de forma típicos para selladores líquidos
- Deformación unitaria en la fibra extrema del sellador para cada factor de forma
- Diseño del factor de forma.

### 3.3 MAQUINARIA Y EQUIPO

Para la selección de la maquinaria, equipo y herramienta adecuados para un proyecto determinado es necesario establecer primeramente la magnitud de la obra, y por tanto los recursos para enfrentarla.

En este capítulo se hace mención de los principales equipos de pavimentación que pudiesen servir para pavimentar desde una calle de 5 metros de largo hasta una autopista de altas especificaciones.

#### 3.3.1 PLANTA CENTRAL DE MEZCLADO

Las plantas de mezclado central son plantas generalmente móviles con un diseño especial que permite su rápido montaje y desmontaje así como su transporte. Su manejo es automatizado, lo que facilita todas sus funciones.

Este tipo de plantas se emplea en obras de gran magnitud donde se requieren producciones diarias que pueden variar entre los 1500 y 2500 m<sup>3</sup>. La producción de estas plantas oscila entre los 280 y 360 m<sup>3</sup>/Hr, equivalente a una producción por jornada de entre 2200 y 2800 m<sup>3</sup>.

Dentro de las variedades de plantas de mezclado central, se tienen plantas simples con un sistema de dosificación y una olla de mezclado o las que tienen un premezclador anterior a la olla mezcladora, conocidas como de producción continua o en línea. Otro tipo son las de "doble mezcladora" que cuentan con dos líneas de carga y un sistema de dosificación, hasta la más completa que es con dos ollas mezcladoras y dos sistemas de dosificación.

Debido a que este tipo de planta, como su nombre lo indica, realiza por si misma el proceso de dosificación y mezclado, para el transporte del concreto se hace necesario el uso de camiones tipo volteo de 9 y 14 m<sup>3</sup>, o de tipo Flow Boy con capacidad de 15 m<sup>3</sup>.

Para la alimentación de agregados a la planta se cuenta con cargadores frontales en el número requerido por la planta. Para almacenar el cemento se tienen silos horizontales con capacidad de 150 toneladas que serán suministradas por pipas especiales para el transporte de cemento a granel. Es importante contar con el agua necesaria tanto para la

mezcla del concreto como para el lavado de los camiones y el equipo, aproximadamente se requieren de 600 a 800 m<sup>3</sup> por día.

Por la magnitud de la producción es necesario establecer una logística muy cuidadosa, de manera de no entorpecer el área de suministro de concreto, ni la de entrega de materiales a la planta, además de tener bien ubicadas áreas de espera, zonas de lavado de camiones y estacionamientos. También se deben construir los drenajes necesarios para canalizar todas las aguas de lavado, limpieza, producción, etc. producto de todas las operaciones ejecutadas.

### 3.3.2 PLANTA DOSIFICADORA.

Estas plantas están diseñadas para dosificar los componentes del concreto y se apoyan en camiones revolvedores para realizar el mezclado de los materiales y obtener el concreto. En este caso los materiales que conforman el concreto son dosificados por el operador de la planta directamente en un camión revolvedor que será el encargado de hacer el mezclado y transportarlo al lugar de la obra. A este tipo de concreto se le conoce comercialmente como Concreto Premezclado

El uso de estas plantas se recomienda para proyectos de mediana y pequeña magnitud donde no se requiera de un gran volumen de concreto, su uso es muy común en proyectos con cimbra fija, dado que la demanda de estos oscila entre 14 y 42 m<sup>3</sup> por hora. La producción de estas plantas en promedio es de 30 m<sup>3</sup> a 70 m<sup>3</sup>/Hr. Las hay manuales o computarizadas, con una capacidad de almacenamiento de cemento en silos de 60 a 150 Ton, junto con depósitos para agua y aditivos

El suministro de los agregados a la dosificadora se realiza mediante el uso de cargadores frontales con neumáticos.

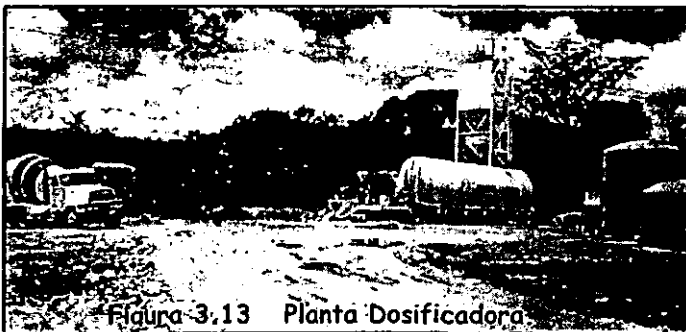


Figura 3.13 Planta Dosificadora

### 3.3.3 PAVIMENTADORAS DE CIMBRA DESLIZABLE.

Gracias a los avances tecnológicos se tiene un equipo que permite colocar, cimbrar y compactar el pavimento de concreto hidráulico conocido como Pavimentadora de cimbra deslizante. Esta máquina es capaz de colocar y dar el terminado al concreto sin necesidad de cimbras ni camiones de premezclado difíciles de maniobrar. Este equipo puede colocar hasta 3000 m<sup>3</sup> por día, por lo que ha revolucionado la calidad y la cantidad de la construcción de pavimentos de concreto.

Existen en el mercado diferentes tipos, modelos y tamaños de estas pavimentadoras en función de la magnitud de la obra a realizar. Como complemento a estas se tiene un equipo conocido como Texturizadora-Curadora para realizar los trabajos posteriores a la colocación y consolidación del concreto.

A continuación se mencionan los equipos más representativos.

<b>MARCA :</b>	CMI	<b>TIPO DE PROCEDIMIENTO:</b>	CIMBRA DESLIZANTE
<b>MODELO :</b>	SF-150 "C.P.S."		
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
Dos orugas motrices o cuatro como opción, sistema de tornillo para distribución del concreto, barra de alineamiento, vibradores en batería, flota niveladora. Produce espesores de 45.70 cm y anchos de carril de 3.65 m a 7.32 m.			
<b>CONDICIONES DE TRABAJO</b>			
Trabaja bajo cualquier condición climatológica, pendientes no muy prolongadas con un rango de 0 < 10 %, en curvatura ± 19° como parámetro.			
<b>PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN</b>			
Para proyectos que demanden una producción de 92 m <sup>3</sup> /Hr a 144 m <sup>3</sup> /Hr. Producción media de 115 m <sup>3</sup> /Hr.			
<b>VENTAJAS</b>			
Al tender el concreto queda al 85% de su fase final quedando el otro 15% para terminarlo con equipo menor. Autonivelación. Reduce considerablemente los problemas de vibrado. Con holgura cero es muy eficaz en pavimentos donde existen guarniciones. Opción a DBI			
<b>DESVENTAJAS</b>			
Gran costo de operación. Requiere una superficie de rodamiento adicional. Presenta problemas en pendientes altas. En el caso de pavimentos urbanos donde el modelo no es de holgura cero presenta problemas con las guarniciones existentes.			
<b>ACCESORIOS</b>			
Andador de trabajo perimetral, aspersor de concreto, batería de vibradores, flota finisher, flota perfiladora.			
<b>EQUIPO ADICIONAL</b>			
Insertor de barras pasajuntas (DBI), flota finisher oscilante, extensión para configuración de pavimento, flota finisher hidráulica, moldes adicionales de cimbra deslizante.			
<b>PROYECTOS RENTABLES</b>			
Carreteras tipo B y C.; Aeropistas; Caminos sub-urbanos y urbanos; Aproches, Rampas.			

**MARCA :** CMI **TIPO DE PROCEDIMIENTO:** CIMBRA DESLIZANTE  
**MODELO :** SF-350 "CONCRETE SLIPFORM"

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Dos orugas matrices, sistema de tornillo para distribución del concreto, barra de alineamiento, vibradores en batería, flota niveladora. Produce espesores de 40.00 cm y anchos de carril de 3.50 m a 9.00 m.

**CONDICIONES DE TRABAJO**

Trabaja bajo cualquier condición de climatológica, pendientes no muy prolongadas con un rango de 0<9 %, en curvatura ±17° como parámetro, requiere una superficie de rodamiento de orugas adicional al ancho de la carpeta.

**PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN**

Para proyectos que demanden una producción de 214 m<sup>3</sup>/Hr A 334 m<sup>3</sup>/Hr. Producción media de 270m<sup>3</sup>/Hr.

**VENTAJAS**

Al tender el concreto queda al 85% de su fase final quedando el otro 15% para terminarlo con equipo menor. Autonivelación. Reduce considerablemente los problemas de vibrado. Opción a DBI

**DESVENTAJAS**

Gran costo de operación. Requiere una superficie de rodamiento adicional para la máquina. Presenta problemas en pendientes altas.

**ACCESORIOS**

Andador de trabajo perimetral, aspersor de agua, batería de vibradores, flota finisher, flota perfiladora.

**EQUIPO ADICIONAL**

Insersor de barras pasajuntas (DBI), flota finisher oscilante, extensión para configuración de pavimento, flota finisher hidráulica, moldes adicionales de cimbra deslizante.

**PROYECTOS RENTABLES**

Carreteras tipo A,B,C.; Aeropistas, Caminos sub-urbanos y urbanos.

**MARCA :** CMI **TIPO DE PROCEDIMIENTO:** CIMBRA DESLIZANTE  
**MODELO :** SF-450 "CONCRETE SLIPFORM CON DBI"

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Cuatro orugas matrices, sistema de tornillo para distribución del concreto, barra de alineamiento, vibradores en batería, flota niveladora oscilante, operación manual o automática, sistema automático de inserción de pasajuntas, largo 22.20 m, ancho 3.15 m, altura 2.96 m. Produce espesores de 61 cm y anchos de carril de 5.50 m a 15.20 m.

**CONDICIONES DE TRABAJO**

Trabaja bajo cualquier condición climatológica, pendientes no muy prolongadas con un rango de 0<6 %, en curvatura ±1° como parámetro, requiere una superficie de rodamiento de orugas adicional al ancho de la carpeta.

**PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN**

Para proyectos que demanden una producción de 334 m<sup>3</sup>/Hr a 380 m<sup>3</sup>/Hr. Producción media de 345 m<sup>3</sup>/Hr.

**VENTAJAS**

Al tender el concreto queda al 85% de su fase final quedando el otro 15% para terminarlo con equipo complementario (equipo de finisher). Autonivelación. Inserción automática de barras pasajuntas y barras de amarre.

**DESVENTAJAS**

Gran costo de operación. Presenta problemas en pendientes altas.

**ACCESORIOS**

Andador de trabajo perimetral, aspersor de agua, batería de vibradores, flota finisher, flota perfiladora.

**EQUIPO ADICIONAL**

Insersor de barras de amarre (DBI), extensión para configuración de pavimento, flota finisher hidráulica, moldes adicionales de cimbra deslizante.

**PROYECTOS RENTABLES**

Carreteras tipo A,B; Aeropistas; Caminos sub-urbanos y urbanos.

**MARCA :** CMI **TIPO DE PROCEDIMIENTO:** CIMBRA DESLIZANTE  
**MODELO :** SF-550 "CONCRETE SLIPFORM"

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

Cuatro orugas motrices, sistema de tornillo para distribución del concreto, barra de alineamiento, vibradores en batería, flota niveladora oscilante, operación manual o automática, sistema automático de inserción de pasajuntas, largo 22.20 m, ancho 3.15 m, altura 2.96 m. Produce espesores de 61 cm y anchos de carril de 5.50 m a 15.20 m.

#### CONDICIONES DE TRABAJO

Trabaja bajo cualquier condición climatológica, pendientes no muy prolongadas con un rango de 0 < 6 %, en curvatura  $\pm 11^\circ$  como parámetro, requiere una superficie de rodamiento de orugas adicional al ancho de la carpeta.

#### PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN

Para proyectos que demanden una producción de 380 m<sup>3</sup>/Hr a 440 m<sup>3</sup>/Hr. Producción medio de 420 m<sup>3</sup>/Hr.

#### VENTAJAS

Al tender el concreto queda al 85% de su fase final quedando el otro 15% para terminarlo con equipo menor. Autonivelación, inserción automática de barras pasajuntas y barras de amarre.

#### DESVENTAJAS

Gran costo de operación. Requiere una superficie de rodamiento adicional para la máquina. Presenta problemas en pendientes altas.

#### ACCESORIOS

Andador de trabajo perimetral, aspersor de agua, batería de vibradores, flota finisher, flota perfiladora, insertor de barras pasajuntas (DBI).

#### EQUIPO ADICIONAL

Extensión para configuración de pavimento, flota finisher hidráulica, moldes adicionales de cimbra deslizante.

#### PROYECTOS RENTABLES

Carreteras tipo A,B,C.; Aeropistas; Caminos sub-urbanos y urbanos.

**MARCA :** CMI **TIPO DE PROCEDIMIENTO:** CIMBRA DESLIZANTE  
**MODELO :** TC-250 (Texturizadora-Curadora)

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

Es un equipo que realiza el texturizado transversal y longitudinal así como la aplicación de la membrana de curado. Se apoya sobre cuatro neumáticos, autopropulsada con motor de 56 H.P., transmisión hidráulica hacia delante y atrás, dirigida con sensores, sistema para soporte de yute, peine metálico y aspersión para la membrana, para pavimentaciones de hasta 15.20 m, operación manual o automática. El rendimiento del equipo esta en función del avance de la pavimentadora, este modelo es recomendable para trabajar junto con las pavimentadoras SF-450 y SF-550.

#### CONDICIONES DE TRABAJO

Trabaja bajo cualquier condición de clima.

#### PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN

Para proyectos que demanden una producción de 300 m<sup>3</sup>/Hr A 420 m<sup>3</sup>/Hr.

#### VENTAJAS

Todo el proceso de texturizado es con mucha precisión, incluyendo la profundidad del rayado transversal, lo que garantiza uniformidad, al igual que en el curado.

#### DESVENTAJAS

Gran costo de operación. Requiere una superficie de rodamiento adicional para la máquina. Presenta problemas en pendientes altas y en curvas pronunciadas, donde el trabajo se debe realizar de forma manual.

#### ACCESORIOS

Marco para soporte de yute, marco para colocación del peine metálico, sistema de aspersión de agua para mantener humedo el yute, sistema de aspersión para membrana de curado, sistema de control de profundidad del texturizado

#### PROYECTOS RENTABLES

Carreteras tipo A,B,C.; Aeropistas; Caminos sub-urbanos y urbanos.

**MARCA :** VARIAS      **TIPO DE PROCEDIMIENTO:** CIMBRA DESLIZANTE Y CIMBRA FIJA  
**MODELO :** Texturizadora Mecánica

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Es un equipo que realiza el texturizado transversal y longitudinal de forma mecánica, se apoya sobre cuatro neumáticos, impulsada por el operador, manual, para pavimentaciones de hasta 12 m de ancho. El rendimiento del equipo esta en función del avance de la pavimentadora, este modelo es recomendable para trabajar junto con las pavimentadoras SF-150 y SF-250 así como con rodillos y reglas vibratorias.

**CONDICIONES DE TRABAJO**

Trabaja bajo cualquier condición climatológica, problemas en pendientes pronunciadas.

**PARAMETROS RENTABLES DE PRODUCCION**

Para proyectos que demanden una producción de 100 M3/Hr A 250 M3/Hr.

**VENTAJAS**

El texturizado transversal es muy uniforme.

**DESVENTAJAS**

Presenta problemas en pendientes altas, resulta cansado para el operador estar impulsando el equipo, por lo que se requiere de personal extra para empujarlo.

**ACCESORIOS**

Marco para soporte de yute, marco para colocación del peine metálico.

**PROYECTOS RENTABLES**

Carreteras tipo B y C; Aeropistas; Caminos sub-urbanos y urbanos.

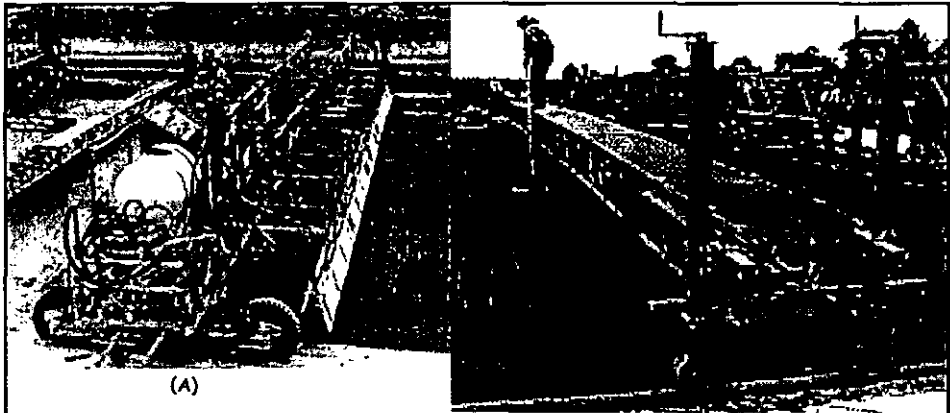


Figura 3.14

(A) Texturizadora Curadora

(B) Puente auxiliar.



### 3.3.4 PAVIMENTADORAS DE CIMBRA FIJA.

En la sección anterior se habló de los equipos para grandes pavimentaciones que requieren una producción diaria muy elevada. Ahora se hace mención de los equipos empleados en pavimentaciones de menor envergadura, que requieren equipos menos sofisticados.

En proyectos menores la producción del concreto normalmente se realiza en plantas dosificadoras y el procedimiento constructivo es basándose en cimbra fija de tipo metálico colocando el concreto con rodillos pavimentadores y reglas vibratorias. La metodología para desempeñar su función es similar para ambos equipos.

Las principales características de estos equipos son las siguientes.

<b>MARCA :</b>	REGLA VIBRATORIA ALLEN INGENIERS	<b>TIPO DE PROCEDIMIENTO :</b>	CIMBRA FIJA
<b>MODELO :</b>	MD12H		
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
Acometida frontal, apoyado sobre cimbra fija de tipo metálico, propulsión mediante winches de operación manual, vibrado mecánico con motor de 8 H.P. a gasolina o neumático, cuchillas de acero inoxidable calibre 10, dimensiones variables, ancho de pavimentación de 3 m hasta 12 m. Producción variable de 100 a 150 m <sup>3</sup> /Jornada.			
<b>CONDICIONES DE TRABAJO</b>			
Trabajo con clima indistinto, pendientes no mayores al 8% en ascenso y descenso.			
<b>PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN</b>			
Este equipo es rentable para una producción entre los 120 y los 150 m <sup>3</sup> por jornada.			
<b>VENTAJAS</b>			
Equipo ligero, desarmable para ser fácilmente transportado, bajo consumo de gasolina, bajos costos de operación y mantenimiento, buen nivel de vibración.			
<b>DESVENTAJAS</b>			
Problemas en el tendido cuando la mezcla no es uniforme o tiene un revenimiento muy bajo, se requiere estar dando posicionamiento a los winches continuamente, no se pueden realizar maniobras de reversa para corrección de errores, problemas en pendientes grandes.			
<b>ACCESORIOS</b>			
Conector universal para junta de flecha, Conector para bombeo al centro del 2%, ménsulas de extremos ajustables.			
<b>EQUIPO ADICIONAL</b>			
Secciones ensamblables para aumentar en ancho de pavimentación. Motores hidráulicos para avance.			
<b>PROYECTOS RENTABLES</b>			
Caminos sub-urbanos, puentes, aprches, pisos comerciales.			

**MARCA :** TERRAMITE (RODILLO PAVIMENTADOR)      **DE PROCEDIMIENTO :** CIMBRA FIJA  
**MODELO :** ROLLER SCREED

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Acometida frontal, se apoya sobre cimbra metálica, autopropulsado con motor de 18 H.P. a gasolina, encendido electrónico, con tres rodillos de 8" de diámetro. Ancho de pavimentación desde 2.50 m hasta 11.00 m. Producción de 160 a 180 m<sup>3</sup>/ Jornada.

**CONDICIONES DE TRABAJO**

Clima indistinto, no recomendable en pendientes mayores al 6% en ascenso y descenso.

**PARÁMETROS RENTABLES DE PRODUCCIÓN**

En proyectos donde se requiera una producción diaria entre los 150 m<sup>3</sup> y los 180 m<sup>3</sup>.

**VENTAJAS**

Equipo ligero, desmontable, de fácil transportación, bajo costo de operación, bajo costo de mantenimiento. Permite maniobras hacia delante y en reversa, proporciona un buen nivel de vibración al concreto.

**DESVENTAJAS**

Problemas en pendientes grandes mayores al 6%.

**ACCESORIOS**

Soporte para transporte del rodillo armado.

**EQUIPO ADICIONAL**

Rodillos cilíndricos de diferentes longitudes para alcanzar el ancho de pavimentación requerido.

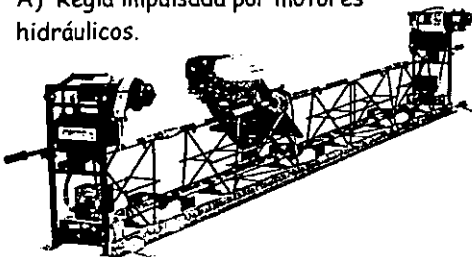
**PROYECTOS RENTABLES**

Puentes, aeropistas, caminos urbanos y sub-urbanos, rampas, aproches.



Figura 3.15 Rodillos Pavimentadores.

A) Regla impulsada por motores hidráulicos.



B) Regla con vibrado neumático e impulsada por winches.



Figura 3.16 Reglas vibratorias.

C) Regla con vibrado mecánico e impulsada con winches (motor a gasolina).



### 3.3.5 EQUIPO PARA VIBRADO DEL CONCRETO.

El vibrado del concreto es una etapa muy importante del proceso constructivo de un pavimento de concreto, pues tiene como fin expulsar el aire atrapado en la mezcla, consolidar el concreto alrededor de las barras de amarre y las pasajuntas y darle un acomodo a los agregados para dejar el suficiente mortero en la superficie para su mejor acabado.

Para el vibrado se tiene dos tipos de equipo.

**Vibradores de penetración.** Este sistema consta de tubos individuales con un árbol de levas interno, que debido a su rotación hace vibrar los tubos inmersos en el concreto. La frecuencia y la posición de los vibradores deberá ser la adecuada para poder obtener una máxima consolidación sin producir segregación. Los impulsos por minuto para el trabajo de este tipo de equipo oscilan entre 5,000 y 10,000.

En este tipo de vibradores se tienen de diferentes tipos y capacidades, pueden ser con motor a gasolina protegido en jaulas o de motor eléctrico de tipo mochila, conocidos con este nombre por su facilidad para ser cargados al hombro.

Los vibradores de penetración representan la opción más viable en trabajos de pavimentación con cimbra fija. De igual manera los equipos de cimbra deslizante cuentan con un sistema de vibración por inmersión a través de gusanos.

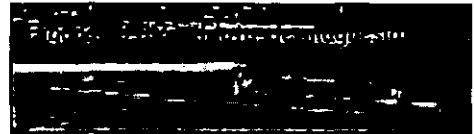
**Vibradores superficiales.** Este sistema consiste de recipientes especiales con unidades vibratorias montadas adentro o encima de ellos, consolidando el concreto al transmitir las vibraciones del recipiente hacia el concreto; si se utilizan vibradores de este tipo se debe tomar en cuenta que todo el recipiente debe estar en contacto con el concreto para tener una consolidación uniforme. Los impulsos mínimos requeridos por minuto son de 3,500, tomando en consideración que si se vibra de más se puede presentar segregación en el concreto.

### 3.3.6 HERRAMIENTA PARA PERFILADO Y TEXTURIZADO.

#### A) HERRAMIENTA PARA PERFILADO

Para el perfilado del pavimento se emplean básicamente dos tipos de herramienta, flotas y llanas.

**Flota.** Es una herramienta útil para abrir poros en el concreto y sacar el agua hacia la superficie, con el objeto de corregir las imperfecciones dejadas por el equipo pavimentador que le antecede. La hay con esquinas redondeadas, y la más común, de tipo canal. La flota viene provista por un cabezal de tipo "Ezy-tilt" que la une con un tubo de extensión, pudiendo ser de lo largo necesario, este cabezal es muy práctico pues con sólo girar el tubo controla el ángulo de ataque de la flota.



**Llana.** Las llanas son del tipo fresno, de dimensiones mayores que las empleadas comúnmente en trabajos de obra civil. Su función radica en alisar la superficie del concreto después de pasar la flota, dando una apariencia de pulido en el concreto fresco. Al igual que las flotas, las llanas tipo fresno están provistas de un cabezal giratorio que le da la flexibilidad de trabajar en cualquier ángulo.



Para dar un detallado a los bordes del pavimento se emplean llanas metálicas manuales.

**Reglas de magnesio o tubulares.** Son reglas de tipo manual que se emplean para detallar zonas en que no es posible enrasar con el equipo pavimentador, como son las juntas de construcción al inicio y final de la jornada.

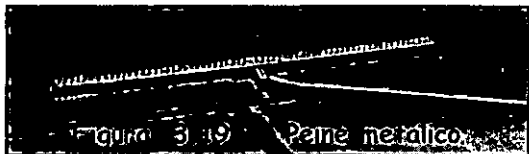
## B) HERRAMIENTA PARA TEXTURIZADO.

Este equipo consta de herramientas manuales que permiten dar al pavimento una textura rugosa y para garantizar en todo tiempo el contacto de las llantas con la superficie del pavimento.

**Cepillo de cerdas.** Es un cepillo basado en cerdas naturales de aproximadamente 1 metro de ancho, sirve para dar una textura adecuada longitudinal a las losas de concreto. Su uso se limita a proyectos urbanos muy pequeños, pues requiere de mucha maniobra y puentes en las losas para su uso.

**Tela de yute.** Se utiliza para realizar el microtexturizado longitudinal después del paso de la flota y de llana. Para su uso se emplea tela con un ancho de aproximadamente 70 cm y una longitud equivalente al ancho de la pavimentación soportada por un tubo de aluminio en un extremo longitudinal. Esta herramienta es usada en proyectos urbanos y suburbanos con muy buenos resultados de calidad y rendimiento.

**Cepillo de alambre o Peine metálico.** Esta herramienta es conocida comúnmente con ambos nombres. Sirve para dar una textura rugosa en forma transversal a la carpeta de concreto. Como su nombre lo indica, es un cepillo compuesto por dientes metálicos en forma laminar con espaciamientos de 1/2" y 3/4", y de diferentes anchos, 36", 48" y 60".



**Bomba de aspersión.** Aunque este equipo no es parte del empleado en el texturizado es importante mencionarlo, pues su uso es después del texturizado transversal. Esta herramienta es una bomba manual de aspersión, tipo agrícola, con capacidad de hasta 20 lts. Es empleada para aplicar compuestos y membranas de curado.

### 3.3.7 EQUIPO PARA ASERRADO DE JUNTAS.

Para el aserrado de juntas se emplean cortadoras de piso para concreto, de tamaños y características acordes con la magnitud de la obra.

Las cortadoras pueden ser de dos tipos, propulsadas manualmente y autopropulsadas.

Las primeras son de baja producción, pues cuentan con motores de 8 H.P. hasta 13 H.P., baleros y flechas de baja calidad, peso bruto de 40 a 80 Kg., Profundidad máxima de corte de 15 cm, control de disco manual, guarda para disco de 10" a 14". Para su desplazamiento se necesita empujarlas, lo que algunas veces provoca imprecisión en el corte.

Las cortadoras autopropulsadas tienen motores de mayor potencia y van desde los 13 H.P. hasta los 65 H.P. a 275 rpm, profundidad máxima de corte de 18 cm, baleros y flechas sellados, control de disco electro-hidráulico, encendido manual y eléctrico, peso bruto de 130 Kg a 660 Kg, varilla de referencia longitudinal, guarda para discos de 10" a 18", avance hacia delante y en reversa, en los modelos de 65 H.P. mofle silenciador vertical y velocidad de avance de 220 pies por minuto.

El complemento de este equipo son los discos de corte, los cuales se dividen en dos categorías:

**Corte en Seco.** Este corte se realiza con discos de carburo de silicio o carborundo, conocidos como discos abrasivos. El ranurado del pavimento en seco se recomienda sólo cuando se tienen agregados suaves, como calizas. Un inconveniente de estos discos es su bajo rendimiento.

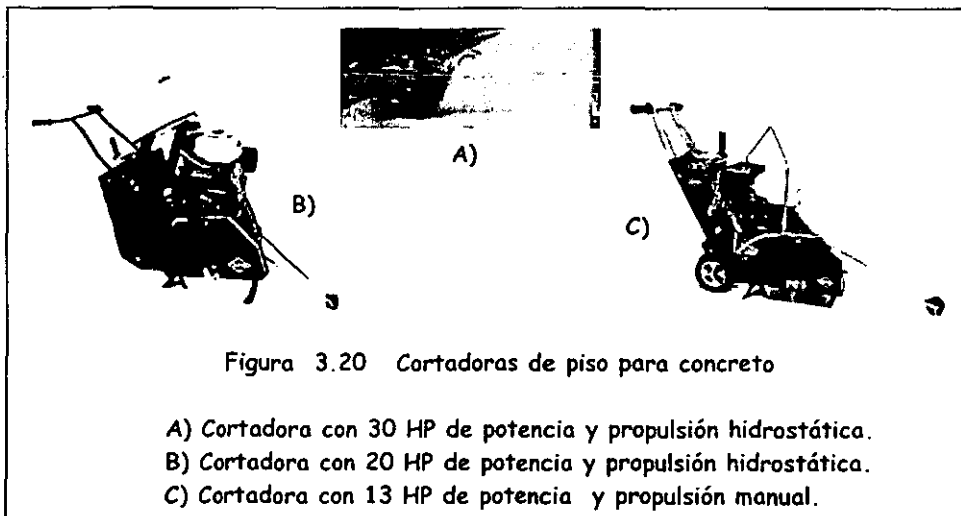
**Corte en húmedo.** Los discos para corte en húmedo son diamantados y se caracterizan por el uso de agua para enfriarlos. Estos discos se pueden emplear en todo tipo de agregado, resultando ser los más eficientes en concretos con agregados duros. Existen en diferentes diámetros (10" a 48") y rendimientos, según la concentración de diamante con que cuentan.

En el mercado existen muchas marcas que ofrecen gran variedad de modelos de ambos tipos de discos. La selección del disco más adecuado (abrasivo/seco ó diamantado/húmedo) dependerá en primer lugar de la dureza de los agregados del concreto

(tabla T3.1). Los agregados varían entre blandos (fáciles de cortar) y duros (difíciles de cortar). Los discos de diamante pueden cortar todos los materiales que componen el concreto. Los discos abrasivos son suficientes para cortar económicamente los agregados blandos pero generalmente no funcionan en materiales muy duros.

Otros factores que influyen en la elección del disco son la potencia de la máquina, la profundidad del corte, el tamaño de la obra y la experiencia del constructor.

BLANDO	MEDIANO	DURO
Caliza	Grava de río	Granito
Dolomita	Roca trapeana	Pedernal
Coral		Horsteno
		Cuarzo



### 3.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Dado que las pavimentaciones con cimbra deslizable son semiautomáticas, en este capítulo nos enfocaremos a las pavimentaciones con equipo de cimbra fija, para mostrar de forma más detallada el procedimiento constructivo de la carpeta de concreto hidráulico. El procedimiento es aplicable a cualquier tipo de pavimentación, salvo que en algunos casos es basándose en equipo automático y en otros a equipo menos sofisticado que requiere de más mano de obra, pero la esencia es la misma.

#### 3.4.1 CIMBRADO.

En el caso de pavimentaciones con equipo de cimbra deslizable no es necesario cimbrar, puesto que el equipo está diseñado para dar forma al pavimento mediante un dispositivo de cimbra deslizable integrado en él.

Cuando se requieren pavimentos de cimbra fija, el cimbrado consiste en la colocación de tableros de cimbra metálica para encajonar el pavimento. Normalmente se emplean

tableros hechos de perfil metálico tipo Montén calibre 10 de 3 metros de longitud con el peralte correspondiente al espesor del pavimento, reforzados con solera para darles mayor rigidez y con dispositivos para su fijación. Cada tablero debe contar con los

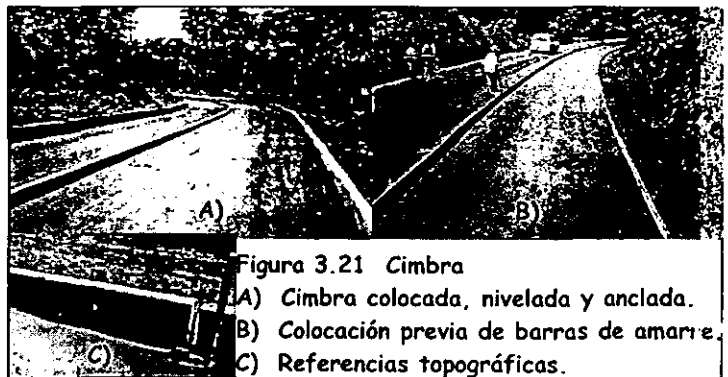


Figura 3.21 Cimbra

- A) Cimbra colocada, nivelada y anclada.
- B) Colocación previa de barras de amarre.
- C) Referencias topográficas.

orificios necesarios al centro del peralte para insertar las barras de amarre. Los orificios estarán distribuidos a la separación y con el diámetro indicados en el proyecto.

La colocación de la cimbra deberá ir siguiendo el alineamiento y los niveles de proyecto, referenciados en el terreno por la brigada de topografía. Los tableros se sujetan mediante troqueles de varilla del #4 ó #5 insertados en los dispositivos dispuesto para tal fin, y anclados en el terreno sobre el cual se colocará el pavimento. Es recomendable revisar la



nivelación de la cimbra una vez colocada para obtener un buen perfil longitudinal en el pavimento.

Terminada la colocación de la cimbra, y antes de iniciar el colado, se deberá aplicar un agente desmoldante a los tableros para evitar que el concreto quede pegado en ellos y provoque molestias al pavimento al momento de descimbrar. El desmoldante puede ser una grasa especial o simplemente diesel.

Para garantizar el rendimiento diario se debe tener como mínimo una longitud de 400 metros lineales de cimbra, equivalente a cimbrar un cuerpo de 200 m.

### 3.4.2 COLOCACIÓN Y CONSOLIDACIÓN.

Antes de iniciar los trabajos de pavimentación es necesario limpiar y humedecer la superficie que recibirá a la carpeta para evitar que absorba el agua de la mezcla

El concreto premezclado recibido en ollas revolvedoras se vacía sobre la superficie de



la sub-base a tiro directo y se esparce a todo lo ancho del confinamiento proporcionado por la cimbra mediante paleo manual o con jaladores para concreto. La olla va avanzando hasta concluir su descarga.

Una vez colocado el concreto se insertan las barras de amarre en los orificios previstos para esto en la cimbra, las barras son varillas corrugadas del diámetro, longitud y separación marcada por el proyecto. Las barras de amarre impiden el corrimiento o desplazamiento de los cuerpos de las losas, normalmente se colocan en todo tipo de juntas longitudinales, ya sean de contracción o de construcción.

Existen varios métodos para la colocación de las barras de amarre en juntas longitudinales de construcción. El método más común (mencionado en el párrafo anterior) es insertar varillas manualmente en la parte lateral de la losa durante la pavimentación, posteriormente se doblan a 90°. Las varillas se enderezan antes de pavimentar los carriles adyacentes. Otro método consiste en hacer barrenos en la cara de la junta longitudinal después de remover la cimbra. Luego se introducen las varillas de sujeción en las

perforaciones y se fijan con una inyección de resina epóxica. El tercer método es por especificación de algunas dependencias que solicitan juegos de varillas de sujeción roscadas y coples de unión. Los coples hembra se cuelan en la junta longitudinal. Antes de proceder a pavimentar un carril adyacente las barras roscadas se atornillan en los coples ahogados.

Las varillas de sujeción dobladas a 90° deben fabricarse con acero ASTM Grado 40 o según especificaciones de otros aceros comerciales. El acero Grado 40 tolera el enderezamiento mejor que el acero Grado 60.

En el caso de que el proyecto considere la colocación de barras pasajuntas en las juntas transversales de contracción, estas se colocarán perfectamente alineadas perpendicularmente al eje longitudinal a una profundidad equivalente a la mitad del espesor del pavimento, soportadas por estructuras metálicas conocidas como canastillas, estos dispositivos se anclan al suelo a través de grapas clavadas en la sub-base. Las pasajuntas se colocan en las juntas transversales de contracción cuando así este especificado en el diseño, pero *deberán colocarse en todas las juntas transversales de construcción* para garantizar la transferencia de cargas entre colados de jornadas distintas. En el caso de que sólo se deban colocar pasajuntas en una junta de construcción, se puede omitir el uso de canastillas para sostener las barras, y se puede emplear una cimbra especial con las perforaciones adecuadas para realizar la junta del final de la jornada.



Figura 3.23 Colocación de barras pasajuntas

El siguiente paso es vibrar el concreto. La consolidación de las losas de concreto se realiza principalmente con vibradores de penetración y tienen la función principal de eliminar el aire atrapado en el concreto, así como acomodar el concreto alrededor de las pasajuntas y las barras de amarre.



Figura 3.24 Compactación con vibrador de penetración



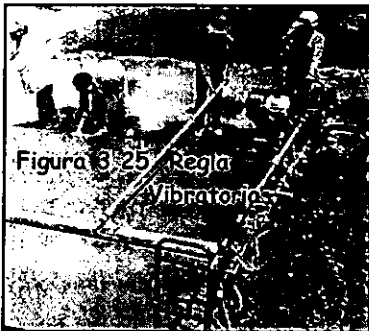
### 3.4.3 ENRASADO.

Una vez consolidado el concreto, debe ser enrasado para lograr la sección transversal requerida; el enrasado con pavimentadoras de cimbra deslizante se logra por medio de reglas maestras que remueven jorobas y depresiones. Las enrasadoras van ocultas en las pavimentadoras de cimbra deslizante, generalmente tapadas por otros equipos, y siempre deben mantener un ángulo recto con línea central del pavimento. Después de enrasada la superficie de concreto, se termina con una llana que alisa y consolida aún más el concreto. Las llanas son planchas sólidas con una pequeña curvatura hacia arriba para evitar que se entierre en el concreto y son ligeramente más angostas que las flotas.

Cuando se emplea equipo para cimbra fija este trabajo se puede realizar por medio de reglas vibratorias o rodillos pavimentadores, complementándose para dar el perfilado final del pavimento con herramientas manuales conocidas como flota de magnesio y llano tipo fresno.

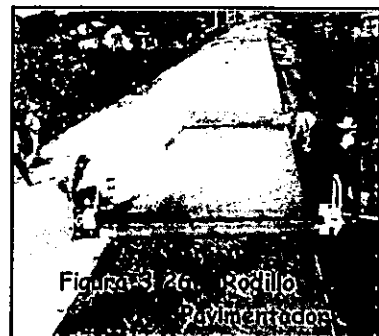
Una vez colocado el concreto se pasa la regla vibratoria o el rodillo pavimentador, que además de enrasar el concreto dan el vibrado final que garantiza la consolidación de este.

Las reglas vibratorias, son equipos impulsados mecánicamente mediante poleas y cables sujetos a varillas, provistos de un motor que mediante una serie de rodaderas unidas a una flecha produce la vibración necesaria para enrasar y vibrar el concreto al irse deslizando sobre la cimbra metálica.



Los rodillos pavimentadores son autopropulsados, con movimiento al frente y reversa.

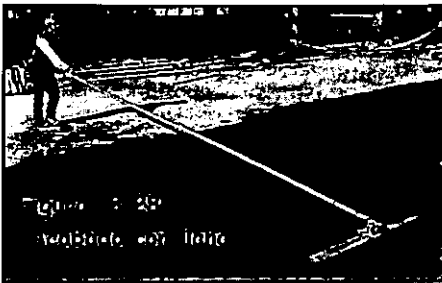
Normalmente constan de tres tubos, dos para su propulsión y un tercer rodillo giratorio para realizar el trabajo de enrasar y consolidar el concreto. Este equipo es muy práctico, pues su facilidad de movimiento le permite moverse a lo largo de la cimbra con facilidad, y gracias a que puede retroceder, se puede corregir el enrase del concreto para dar un acabado de mejor calidad que con una regla.



Después de pasar la regla o el rodillo, deberá utilizarse una flota de magnesio, para corregir las pequeñas irregularidades en la superficie de la losa que dejara a su paso la regla o el rodillo, abrir los poros del concreto para sacar el agua excedente a la superficie así como arrastrar una pequeña porción de pasta cementante. Obteniéndose así el perfilado definitivo del pavimento.



Posteriormente se usa una llana tipo fresno para distribuir la pasta dejada en la superficie por la flota y dar un acabado con apariencia de pulido, que servirá como base para aplicar el acabado superficial. Juntamente se detallan los orillas del pavimento con llanas manuales para darle uniformidad a la superficie.



### 3.4.4 ACABADO SUPERFICIAL Ó TEXTURIZADO.

El acabado dado a las losas de concreto se denomina como texturizado, el cual tiene dos funciones básicas, darle rugosidad y proporcionar un sistema de drenaje al pavimento. Para lo cual el acabado se puede dividir en dos tipos.

**Microtexturizado longitudinal.** Este texturizado tiene como función proporcionar una superficie friccionante a la losa de concreto en sentido longitudinal. El microtexturizado se aplica después del paso de la llana mediante el arrastre de una tela de yute previamente humedecida en sentido longitudinal del pavimento, cuidando de dejar una marca tenue sobre la superficie. También se puede emplear pasto sintético en lugar de la tela de yute para realizar este trabajo cuando por alguna circunstancia no es posible tener el yute.



Figura 3.31 Texturizado longitudinal

Este proceso se puede realizar en forma manual, se fija la tela de yute a un tubo de aluminio o solera que mida un poco más del ancho de pavimentación, con el apoyo de dos personas, una a cada lado del pavimento, se arrastra a lo largo de este.

Este proceso se puede realizar en forma manual, se fija la tela de yute a un tubo de aluminio o solera que mida un poco más del ancho de pavimentación, con el apoyo de dos personas, una a cada lado del pavimento, se arrastra a lo largo de este.

**Texturizado transversal.** Posterior al microtexturizado se realiza el texturizado transversal, que tiene como objeto incrementar la rugosidad del pavimento y realizar una serie de canales transversales que sirven como drenaje cuando el pavimento está mojado o sometido a lluvia. El texturizado se realiza con un peine de cerdas de alambre, con una separación entre dientes de acuerdo a lo especificado en el proyecto, a una profundidad que puede variar entre los 3.00 mm y los 6.00 mm a todo lo ancho de la superficie pavimentada.

Esta operación es importante realizarla cuando el concreto esté aun en estado plástico para permitir el texturizado pero lo suficientemente seco para evitar que los surcos se cierren por fluidez del concreto o se tengan problemas de arrastre de agregado fino. Para lograr un texturizado eficiente, ya sea manual o mecánicamente, se recomienda realizarlo justo cuando la superficie del concreto pierde su brillo.

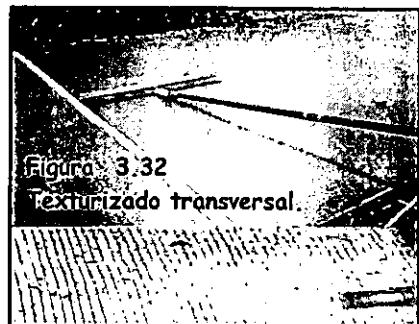


Figura 3.32 Texturizado transversal

### 3.4.5 CURADO.

Inmediatamente después que la superficie se ha texturizado, se aplica el compuesto de curado para evitar la pérdida de humedad y la formación de grietas por contracción plástica mediante un equipo de aspersión, que puede ser manual o neumático. Se debe aplicar uniformemente en la superficie y todos los bordes expuestos para obtener una membrana impermeable y consistente que proteja al concreto.



En los pavimentos de concreto es común el empleo de membranas de curado de emulsión en agua y base Parafina de color claro (pigmento blanco), pues el color claro tiene la capacidad de reflejar los rayos solares y dar mayor protección al concreto; aunque tiene como inconveniente que al momento de ser aplicada se pierde en el concreto, lo que en ocasiones no ayuda obtener una capa uniforme. Algunos contratistas prefieren la utilización de membranas de emulsión en solvente y color rojo o azul para garantizar que toda la superficie quede protegida por el compuesto.

El material de curado propuesto no debe tener entre sus componentes, químicos que puedan dañar a la estructura del concreto tanto en su fraguado inicial y final, y durante el tiempo que el material de curado permanezca existente en todos los bordes expuestos. Otro punto importante que se debe de contemplar es que las características físicas del material de curado no concentren grandes cantidades de calor.

En lugares donde se trabaja con climas extremos es importante tener un cuidado especial para el fraguado del concreto.

En climas cálidos el efecto de la temperatura combinado con el aire y los cambios de presión provocan una pérdida muy rápida de agua en el concreto, dando paso a la formación de grietas por contracción. Por tanto, se pueden tapar las losas con tela de yute humedecida o bien con plástico después de aplicar la membrana de curado para controlar la evaporación; y si las condiciones lo ameritan, programar riegos periódicos de agua en la superficie del pavimento una vez que esté seca la membrana de curado y la superficie tenga la suficiente resistencia para no sufrir deslaves.



**Figura 3.34** Protección del Pavimento con plástico

En el caso de climas fríos; abajo de los 5° C, el efecto es diferente al caso anterior. Debido a las bajas temperaturas el concreto tarda más en alcanzar su temperatura de fraguado y, por consiguiente, no desaloja el exceso de agua de la mezcla. Por otra parte, el agua alojada en el concreto al ir disminuyendo la temperatura tiende a congelarse, lo que

provoca un efecto de expansión en el concreto, que a esta edad tan temprana no lo soporta, causando grietas por expansión. Para contrarrestar el efecto es necesario instalar equipos especiales de calefacción para ayudar al concreto a alcanzar la suficiente resistencia para soportar dichos efectos y continuar su proceso de fraguado.

En el caso de tener lluvia durante la colocación se deberá cubrir el pavimento con plástico para evitar que se deslave la superficie y se pierda el texturizado, también, se recomienda no aplicar la membrana de curado en tales circunstancias.



**Figura 3.35** Protección del pavimento contra la lluvia

Complementando lo anterior, durante el tiempo de colocación y hasta que el concreto alcance un grado mínimo de endurecimiento se debe proteger a las losas de acciones accidentales que lo pudiesen dañar o dejar marcas indeseables, tales como el paso accidental de equipo o seres vivos, lluvia, granizo, etc. Para tal efecto es importante tener un buen señalamiento y personal encargado del cuidado del pavimento, así como contar con lo necesario para dar dicha protección, como yute, plástico, rompevientos, calentadores, etc.

### 3.4.6 ASERRADO DE JUNTAS.

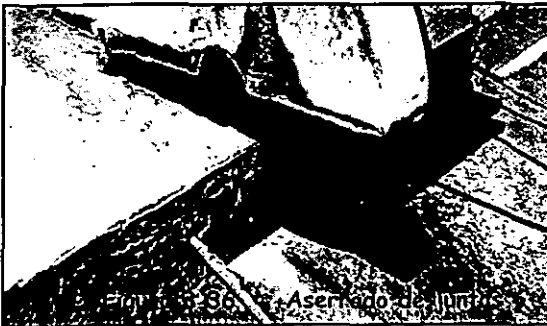
El aserrado con discos de diamante es el método más confiable para cortar las juntas transversales de contracción. El corte inicial del disco proporciona un plano de debilidad en el que se iniciará el agrietamiento. Puede necesitarse una segunda operación de aserrado para lograr el factor de forma, necesario para que el sellador tenga un buen comportamiento.

El contratista deberá marcar la ubicación de las juntas durante las operaciones de pavimentación. En caso de que se especifiquen pasajuntas, un obrero deberá marcar el centro de la canastilla, o sea, el área de inserción. Con esto se garantiza que el corte del disco quedará centrado con respecto a la pasajuntas.

Es muy importante determinar el tiempo preciso para iniciar el aserrado del pavimento después de terminada la colocación del concreto, para ello se necesita aplicar un criterio lógico; con el aserrado tardío se puede presentar el agrietamiento fuera de control, y el corte prematuro puede ocasionar despostillamiento y desgaste a lo largo de la cara de la junta.

La calidad del corte de disco variará en función de la resistencia del concreto. Las condiciones climáticas (temperatura, viento, humedad y rayos del sol directos) representan un papel muy importante en el desarrollo de la resistencia del concreto y en la definición del tiempo óptimo para iniciar el aserrado. El proporcionamiento de las mezclas de concreto y el tipo de sub-base y subrasante, también afectan la programación correcta del aserrado. Las mezclas con agregados de caliza más blandos implican menos generación de resistencia, que en el caso de mezclas con agregados gruesos más duros.

El aserrado deberá iniciarse tan pronto como sea posible después de alcanzarse la resistencia necesaria. En condiciones normales, los contratistas empiezan a realizar los cortes



entre las 4 y 12 horas después del colado, dependiendo de las condiciones de curado y del tipo de sub-base. Las condiciones extremas de temperatura ameritan una mayor atención a los detalles. Los climas cálidos pueden inducir una mayor rapidez de contracción lo cual implica iniciar el aserrado antes de las cuatro



horas. Las temperaturas más frías pueden retrasar el desarrollo de la resistencia del concreto, descartando las operaciones de aserrado dentro de las primeras 24 horas o más, siguientes a la colocación del pavimento.

*Al estar en una subrasante natural o sobre sub-bases granulares, las juntas iniciales deben aserrarse a intervalos comprendidos entre 18 y 24 m en forma inicial, mientras que las juntas intermedias se deben aserrar posteriormente. Las sub-bases rígidas estabilizadas requieren que todas las juntas transversales de contracción se corten consecutivamente, a fin de evitar el agrietamiento fuera de control.*

El corte inicial del disco para formar un plano de debilidad en el concreto endurecido, deberá tener cuando menos la tercera parte del espesor de la losa ( $D/3$ ) con un ancho mínimo de 3.17 mm ( $1/8"$ ).

El método más común para construcción de juntas de construcción, es ejecutar la operación de pavimentación para que termine en el lugar en que se tiene contemplada la junta. Se instala una cimbra previamente preparada para esta operación, la cual generalmente es una tabla de longitud y altura equivalentes a la sección transversal del pavimento con perforaciones para las pasajuntas, aunque también se emplean tableros de cimbra metálica. Posteriormente se colocan las pasajuntas en la cimbra de la cabecera a través de las perforaciones. La consolidación adicional con vibradores manuales debe garantizar un embebimiento satisfactorio de las pasajuntas. Antes de reanudar la pavimentación se quita la cimbra de la cabecera.

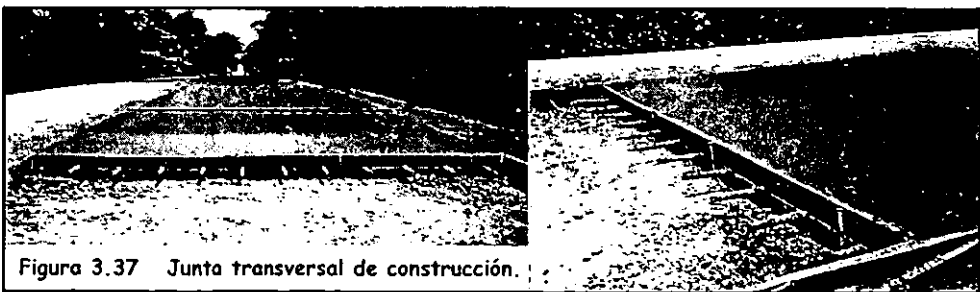


Figura 3.37 Junta transversal de construcción.

Cuando por causas de fuerza mayor sea suspendido el colado por más de treinta minutos, o que se observe que el concreto comienza a endurecerse, se deberá realizar una junta transversal de construcción con la que suspenderá el colado hasta que sea posible reiniciarlo. Es importante que la ubicación de dicha junta coincida con la ubicación de una

junta transversal de contracción o en su defecto al tercio de la losa. Si el tramo colado es menor a un tercio de la longitud de la losa se recomienda remover el concreto sobrante para cortarlo en la junta anterior al incidente, o bien, si la mezcla alcanza se podrá dejar al tercio de la losa. Cuando el incidente ocurra en el tercio medio, se deberá cuidar que la distancia de la junta no sea menor de 1.50 m de las dos juntas transversales de contracción adyacentes. Si la emergencia ocurre en el último tercio de la longitud de la losa se deberá remover el concreto para ubicar la junta de en el tercio medio.

Aunque las juntas transversales de construcción, generalmente se forman contra una cimbra, también se pueden aserrar. Para construir una junta ranurada, se cuela hasta pasar la posición deseada para la junta de construcción. No se emplea cimbra. Se remueve el material sobrante después de aserrar en el lugar previsto. El contratista perfora barrenos e inyecta lechada a las pasajuntas dentro de la cara ranurada de la cabecera. Las cabeceras aserradas son benéficas porque proporcionan transiciones muy suaves entre las secciones del pavimento.

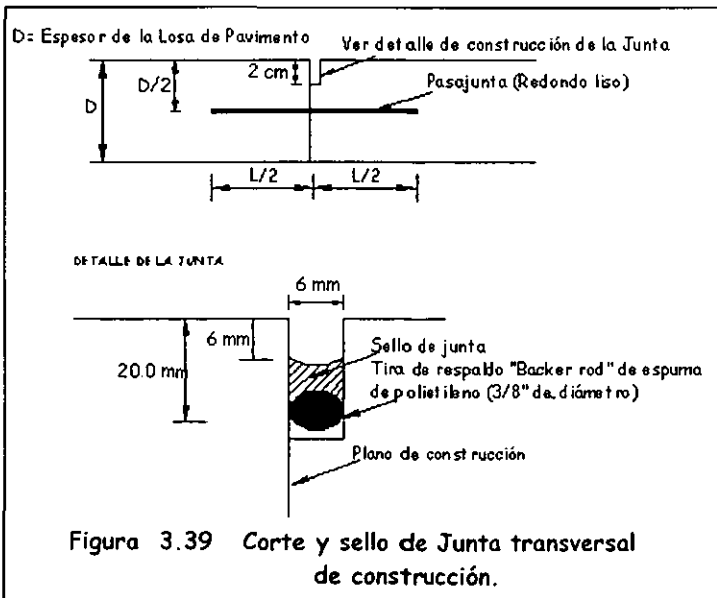
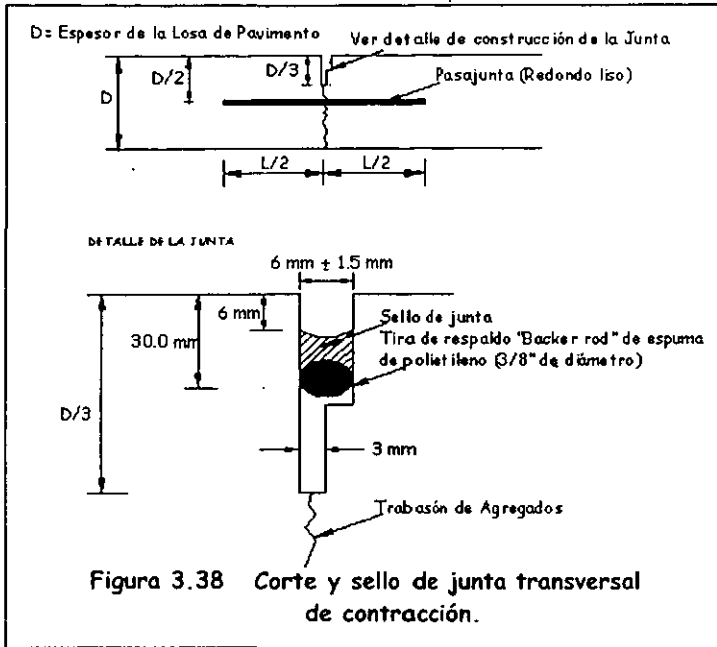
Las juntas de construcción transversales no requieren de aserrado inicial. Las dimensiones de la caja de la ranura son las mismas que se usan en las juntas de contracción.

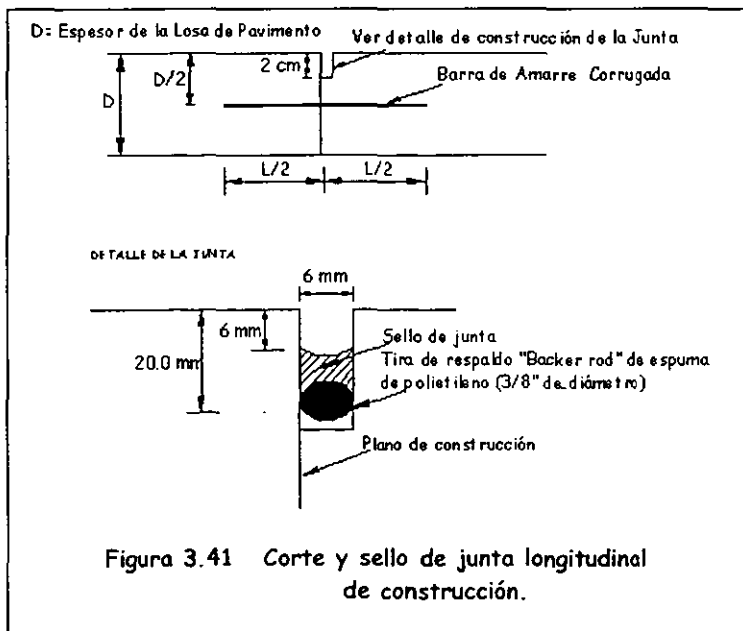
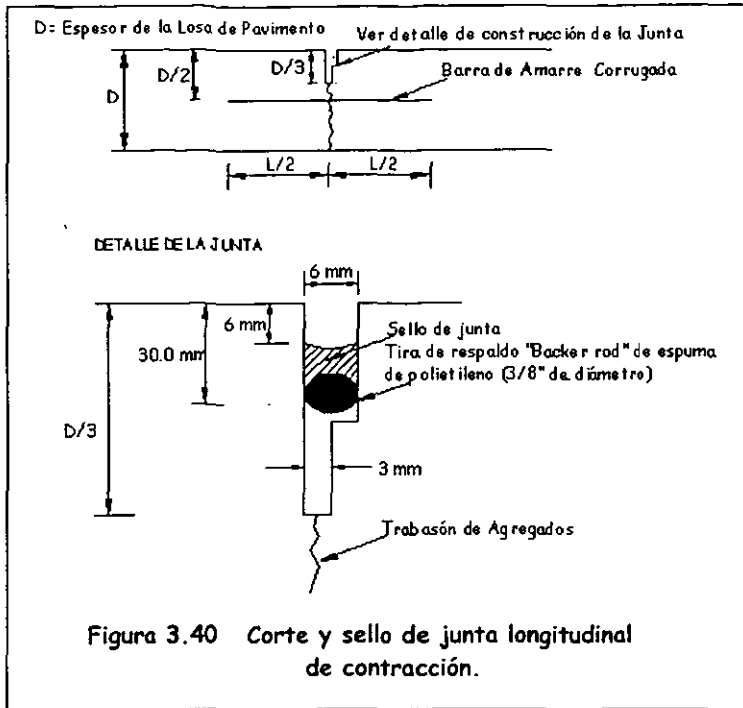
El procedimiento de aserrado de las juntas longitudinales de contracción es en forma parecida a las juntas transversales de contracción.

Normalmente se requiere de un segundo corte (de ensanchado) para establecer el factor de forma adecuado para la caja donde se aplicará el material sellante. Los cortes ensanchados se hacen generalmente dentro de los siete días siguientes a la pavimentación y al aserrado inicial. Para realizarlos existen discos especiales, o bien, se puede empalmar un disco deteriorado de 14" de diámetro junto con uno de 10" en buenas condiciones, el primero sirve como guía y el segundo para realizar el corte.

Por otra parte, los requerimientos diarios de colocación de pavimentos determinan el tamaño (potencia) y cantidad de cortadoras que se necesitan en un proyecto. En los grandes proyectos con muchas uniones se requiere un equipo de alta producción. Las sierras autopropulsadas de 35 a 65 caballos de potencia o las cortadoras de discos múltiples, son las recomendadas para sacar adelante la producción de pavimentos. Es importante contar con cortadoras de reserva para el caso de fallas mecánicas.

En las siguientes figuras se presentan algunos detalles acerca del corte y sellado de los diferentes tipos de juntas especificados por la SCT.





### 3.4.7 SELLADO DE JUNTAS.

#### **Limpieza.**

Las paredes de la caja de sellado necesitan limpiarse perfectamente, para garantizar una buena adherencia del sellador y un buen funcionamiento a largo plazo. No se debe dejar polvo ni trazas visibles de suciedad en las caras de la junta durante la aplicación del sellador. Para que este proceso se lleve con una buena ejecución de los trabajos de limpieza, se tomarán los siguientes lineamientos:

a) Inmediatamente después del aserrado, se debe lavar con agua a presión (menos de 7 Kg/cm<sup>2</sup> de presión) para eliminar el lodo que se formó durante la operación de corte.

b) Una vez que la junta está lo suficientemente seca, la junta se deberá limpiar con chorro de arena para eliminar cualquier residuo sobrante. Una pasada a lo largo de cada una de las caras de la caja dará excelentes resultados. Esta operación, efectivamente limpia las paredes de la junta y también mejora la adherencia del sellador al limpiar una cierta textura a las caras de la ranura.

c) Antes de aplicar el sello, la junta se debe soplear con aire a presión para extraer la arena y cualquier basura y polvo que se hubiera depositado por el viento o el tráfico. La presión del aire deberá ser mayor de 6.3 Kg/cm<sup>2</sup>.

En la práctica, es común omitir la recomendación b, siendo que resulta suficiente lavar la grieta con agua y soplearla con aire a presión.

#### **Sellado.**

Una vez concluida la limpieza, la primera etapa consistirá en instalar la tira de respaldo. La barra de respaldo es una tira de espuma de polietileno de diferentes diámetros según las necesidades del proyecto, llamada comúnmente por su nombre en inglés "Baker rod". Se puede usar una rueda giratoria para introducir este injerto hasta la profundidad deseada. La barra de respaldo no se debe estirar, a fin de que pueda mantenerse en contacto con las paredes de la ranura (figuras 3.38 a 3.41).

Posteriormente se aplica el material de sello. Los sellos líquidos necesitan aplicarse uniformemente. La caja de la junta debe llenarse de la parte inferior hacia arriba, para evitar que queden atrapadas burbujas de aire. No es recomendable rebasar ni llenar completamente la ranura. Una buena costumbre consiste en remeter el sellador cuando menos entre 3 y 6 mm por debajo de la superficie del pavimento. Esto permite que el sellador se expanda durante el rellenado de las juntas en verano. Si no se deja remetido, el sellador se puede extruir hacia la superficie del pavimento donde el tráfico lo puede desplazar de la ranura.

Basándose en la experiencia, los selladores que cumplen con las normas para selladores de pavimentos son los compuestos a base de poliuretano, pues permiten una fácil aplicación, buena adherencia a las paredes de la junta y buenas características físicas para la protección de la junta.

La operación de sellado para el caso de sellos de compresión preformados, para juntas de aislamiento, implica la aplicación de un lubricante/adhesivo en las paredes de la ranura. A continuación se introduce el sello de compresión dentro de la caja (no se emplea barra de respaldo). El material lubricante/adhesivo facilita la inserción del sellador y forma un adhesivo débil que ayuda a mantener el sello en su lugar. Se necesita tener cuidado durante la instalación para evitar que se tuerza o se estire el sellador. Mas de 5% de elongación es excesivo y se deberá evitar. La mayoría de los fabricantes de sellos de compresión proporcionan dispositivos para eliminar el estiramiento durante la instalación.

Como se mencionó anteriormente, en las juntas transversales y longitudinales de contracción se necesita una caja de ranura más ancha (sus dimensiones varían entre 6 y 13 mm de ancho y 19 y 44 mm de profundidad, dependiendo de la separación entre juntas y del material de sello) para lo cual es necesario realizar un segundo corte que permita obtener el factor de forma deseado. Generalmente no es necesaria una caja de ranura para las juntas transversales y longitudinales de construcción, un solo corte de disco de 3.2 a 9.5 mm de ancho es más que suficiente.

# CAPÍTULO 4

**= PRECIOS UNITARIOS =**

## 4.1 COSTOS

La evaluación de los costos de una obra es una etapa dentro del proceso constructivo general, la cual inicia con la investigación o estudio de la factibilidad de realizar la obra y que termina con la construcción de la misma.

Una forma generalizada de evaluar los costos, es a través del estudio sistemático de los elementos que intervienen en cada una de las actividades que conforman la obra, para llegar a establecer un precio por unidad de obra, denominado como precio unitario.

De acuerdo con el marco legal, la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas (LAOP) dentro de sus Reglas Generales de Contratación sección 5.1 establece el siguiente principio para la integración del precio unitario. "La integración de los precios unitarios para un trabajo determinado deberá guardar concordancia con los procedimientos constructivos, con los programas de trabajo, de utilización de maquinaria y equipo, con los costos de los materiales en la época y en la zona y demás recursos necesarios; todo ello de acuerdo con las normas y especificaciones de La Dependencia o Entidad".

Por tanto, los precios unitarios estarán sujetos a las especificaciones del cliente, al procedimiento constructivo y al lugar en que se realice la obra. Independientemente del tipo de obra, un precio unitario estará conformado por los siguientes elementos:

- Costos directos
- Costos indirectos
- Financiamiento
- Utilidad

Para los fines de este trabajo sólo consideremos los factores que afectan la construcción de la carpeta de concreto hidráulico con el método de cimbra fija.



#### 4.1.1 COSTOS DIRECTOS.

El costo directo es la sumatoria de los costos que forman parte directamente del producto terminado por unidad de obra. Dichos costos se pueden dividir en tres grandes grupos.

- A) Materiales
- B) Mano de Obra
- C) Maquinaria y equipo

#### A) MATERIALES.

Son la materia prima para la realización de la obra, por lo que se generan erogaciones para su adquisición. Los materiales se clasifican en permanentes y en temporales, Los primeros son los que forman parte de la obra, como el concreto y las pasajuntas; los segundos son aquellos que se consumen en uno o varios usos y no pasan a ser parte integrante de la obra, como la cimbra o la grasa desmoldante.

Es indispensable conocer los materiales en todos los aspectos, ya que será de gran utilidad para seleccionar los materiales óptimos, adecuados para las condiciones de trabajo, proceso constructivo, economía y calidad que satisfagan las especificaciones del proyecto.

Para este caso en particular, se presenta en la siguiente tabla los principales insumos para pavimentación.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
M 001	Varilla corrugada de 3/8" a 1 1/2"	Ton.	1.00		
M 002	Barra de acero redondo liso de 3/4" de diám.	Kg	1.00		
M 003	Canastillas para pasajuntas	Pza.	1.00		
M 004	Alambre recocado Calibre 18	Kg	1.00		
M 005	Clavos 3" con cabeza	Kg	1.00		

M 006	Tablero de cimbra metálica con 3.05 m de largo y 0.18 cm de peralte.	m	1.00		
M 007	Tela de yute	m <sup>2</sup>	1.00		
M 008	Emulsión para curado de concreto	l	1.00		
M 009	Agua	m <sup>3</sup>	1.00		
M 010	Desmoldante Molducret G-40	l	1.00		
M 011	Disco de diamante para Corte de Concreto	Pza.	1.00		
M 012	Barra de respaldo de 1/4", Backer Rod	m	1.00		
M 013	Sellador para juntas autonivelable	l	1.00		
M 014	Pintura de esmalte anticorrosivo	l	1.00		
M 015	Gasolina Magna Sin	l	1.00		
M 016	Diesel	l	1.00		
M 017	Concreto premezclado MR = 45 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1.00		

**Tabla 4.1 Insumos básicos para pavimentación con cimbra fija.**

## B) MANO DE OBRA.

El cargo por mano de obra es el que se deriva de las erogaciones realizadas para el pago de salarios al personal que interviene directamente en la ejecución de los trabajos, no incluyendo al personal técnico, administrativo, de control y supervisión, que corresponden a los cargos indirectos.

La mano de obra interviene dentro de los costos directos con sus aspectos de salario y rendimiento. Para el manejo de la mano de obra se jerarquiza en diferentes categorías las cuales están diferenciadas unas de otras de acuerdo a sus conocimientos, rangos en la obra, responsabilidades, experiencia y/o especialidad.

El costo por mano de obra deberá incluir los cargos generados por las prestaciones de ley, como Seguro social, Infonavit, Ley Federal del trabajo, etc. A partir de un salario base establecido, se le aplica la parte proporcional que generan dichas erogaciones, para obtener un salario real, que es el que aparece en la integración del precio unitario.

A continuación se presenta una matriz básica de mano de obra que muestra el personal que interviene en la realización de una pavimentación estándar con cimbra fija.

**Tabla 4.2 Matriz de mano de obra para trabajos de pavimentación con cimbra fija.**

## MATRIZ DE MANO DE OBRA PARA TRABAJOS DE PAVIMENTACIÓN

## PARAMETROS DE M.O.

CATEGORIA	JORNAL	FSR
COLOCADOR JUNIOR	\$85 71	1 57369
HOMBRE DE PISO	\$114 29	1 57252
MAESTRO COLOCADOR	\$128 57	1 57252
CHOFER DE CAMIONETA	\$128 57	1 57252
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	\$150 00	1 57246

## MATRIZ DE CUADRILLAS

## CUADRILLA 1 PAV-CIM (cimbado)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	4	\$ 539 52
HOMBRE DE PISO	JORNADA	\$114 29	1 57252	\$179 73	1	\$ 179 73
MAESTRO COLOCADOR	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
CHOFER DE CAMIONETA	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	0 1	\$ 20 22
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 2	\$ 47 17
Costo directo						\$ 988 82

## CUADRILLA 2 PAV-COL (colocación)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	8	\$ 1 079 05
MAESTRO COLOCADOR	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
CHOFER DE CAMIONETA	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	0 1	\$ 20 22
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 3	\$ 70 78
Costo directo						\$ 1 372 21

## CUADRILLA 3 PAV-TEX (texturizado)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	2	\$ 269 76
HOMBRE DE PISO	JORNADA	\$114 29	1 57252	\$179 73	2	\$ 359 46
MAESTRO COLOCADOR	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 854 99

## CUADRILLA 4 PAV-CUR (curado)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	1	\$ 134 88
CHOFER DE CAMIONETA	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	0 1	\$ 20 22
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 178 69

## CUADRILLA 5 PAV-COR (corte y ensanche de juntas)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	1	\$ 134 88
MAESTRO COLOCADOR	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
CHOFER DE CAMIONETA	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	0 2	\$ 40 44
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 2	\$ 47 17
Costo directo						\$ 424 67

## CUADRILLA 6 PAV-SELL (sello de juntas)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	3	\$ 404 64
MAESTRO COLOCADOR	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 630 41

## CUADRILLA 7 PAV-DESC (descimbado)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	4	\$ 539 52
CHOFER DE CAMIONETA	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	0 2	\$ 40 44
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 603 55

## CUADRILLA 8 PAV-PAS (colocación de Pasajuntas)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	1	\$ 134 88
MAESTRO COLOCADOR	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 360 65

## CUADRILLA 9 PAV-DOB (doblado y enderezado de barras de amarre)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	1	\$ 134 88
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 158 47

## CUADRILLA 10 PAV-BAR (colocación de barras de amarre)

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
COLOCADOR JUNIOR	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	1	\$ 134 88
JEFE DE PAVIMENTACIÓN	JORNADA	\$150 00	1 57246	\$235 87	0 1	\$ 23 59
Costo directo						\$ 158 47

## OFICIOS DIVERSOS

CONCEPTO	UNIDAD	JORNAL	FSR	COSTO	CANTIDAD	IMPORTE
AYUDANTE GENERAL	JORNADA	\$85 71	1 57369	\$134 88	1	\$ 134 88
OFICIAL FERRERO	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
OPERADOR DE RODILLO PAV	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18
OPERADOR DE CORTADORA	JORNADA	\$128 57	1 57252	\$202 18	1	\$ 202 18

### C) MAQUINARIA Y EQUIPO.

Con el fin de obtener una mayor producción en un ambiente de seguridad, calidad y economía, se podrá disponer de la maquinaria necesaria para realizar las obras encomendadas en los plazos de ejecución, según las especificaciones y procesos constructivos.

Los gastos generados por el uso de maquinaria tienen como parámetro el costo horario. Este es el importe generado por el empleo de un equipo en particular y está integrado por tres elementos: Cargos Fijos, Cargos por Consumo y Cargos por Operación.

**Cargos fijos.** Son aquellos que gravan el costo del equipo sin importar que esté operando o no, es decir, constituyen el costo por concepto de la propiedad del mismo y su mantenimiento en condiciones de operación. Los factores que componen este cargo son: Interés sobre el capital, considera la rentabilidad del dinero invertido en la adquisición de la maquinaria. Depreciación, es el costo que resulta por la disminución del valor de adquisición de la maquinaria como consecuencia de su uso durante el tiempo de su vida económica. Mantenimiento, es el cargo por la conservación de la maquinaria, compra de refacciones, reparaciones, etc. y es considerado como un porcentaje de la depreciación. Seguros, debido a que el equipo siempre trabaja con un riesgo a la destrucción imprevista o al robo, es importante cubrir este riesgo con un seguro. Impuestos, el equipo está sujeto al pago de impuestos por diferentes conceptos, como permisos, revistas, placas, así como gastos por almacenaje en los meses que no está en obra, generándose una serie de gastos anuales. Factor de utilización, dado que el equipo no trabaja ininterrumpidamente durante todo el año es permitido aplicar a los conceptos anteriores un factor que considere la relación entre el tiempo trabajado y el tiempo inactivo del equipo.

**Cargos por consumo.** Para poder realizar la actividad para la cual fue diseñada, una máquina requiere de varios consumibles, como combustible, lubricantes, llantas, aditamentos, etc., lo que genera un gasto, que pasa a ser parte del costo.

**Cargos por operación.** Son los que resultan por concepto del pago de salarios al personal encargado de la operación de la máquina. Se obtienen dividiendo el salario del operador entre las horas efectivas de trabajo.

A continuación se presentan dos ejemplos de costo horario, uno para un rodillo pavimentador Roller Screed de 4 metros de ancho, y otro para un vibrador de concreto con motor a gasolina.

### ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

OBRA: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CAMPUS ACATLÁN		CLAVE: BP-003	
DESCRIPCIÓN: RODILLO PAVIMENTADOR ROLLER SCREED DE 4.00 METROS DE ANCHO.		UNIDAD: HR	
		FECHA DE COTIZACIÓN: 04/07/00	
<b>PARAMETROS DE COSTO</b>		<b>CARGOS FIJOS</b>	
Valor de Adquisición (Va)	\$132,500.00	1.- Interés sobre el capital (Va <sup>n</sup> ) / Ha	\$6.33
Horas anuales de uso (Ha)	1,820.00	2.- Depreciación Va / (V <sup>n</sup> Ha)	\$14.56
Vida económica (años) (V)	5.00	3.- Mantenimiento Q <sup>n</sup> D	\$11.65
Tasa de seguros (S)	1.80	4.- Seguros (Va <sup>s</sup> ) / Ha	\$1.31
% de mantenimiento(%), (Q)	80.00	5.- Impuestos Ga / Ha	\$1.65
Valor de rescate (%) (r)	-	6.- Factor de utilización 12 / Ma	2.00
Tasa de interés (i)	8.70		\$71.00
Gastos anuales (Ga)	\$3,000.00	<b>CARGOS POR CONSUMO</b>	
Meses activos (Ma)	6.00	CLAVE	UNIDAD
		GAS-01	LT
		LUB-01	LT
Gasolina Magna-Sin GAS-01	\$5.04	0	\$0.00
Aceite P/motor gasolina LUB-01	\$22.00	0	\$0.00
		0	\$0.00
			\$27.03
		<b>CARGOS POR OPERACIÓN</b>	
		CLAVE	UNIDAD
Operador OP-01	\$202.18	OP-01	JOR
			0.1250
			\$202.18
			\$25.27
		TOTAL COSTO HORARIO (FIJ+CON+OP) : \$123.31	

### ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

OBRA: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CAMPUS ACATLÁN		CLAVE: BP-004	
DESCRIPCIÓN: VIBRADOR PARA CONCRETO CON MOTOR A GASOLINA		UNIDAD: HR	
		FECHA DE COTIZACIÓN: 04/07/00	
<b>PARAMETROS DE COSTO</b>		<b>CARGOS FIJOS</b>	
Valor de Adquisición (Va)	\$8,500.00	1.- Interés sobre el capital (Va <sup>n</sup> ) / Ha	\$0.32
Horas anuales de uso (Ha)	2,340.00	2.- Depreciación Va / (V <sup>n</sup> Ha)	\$1.21
Vida económica (años) (V)	3.00	3.- Mantenimiento Q <sup>n</sup> D	\$0.85
Tasa de seguros (S)	1.80	4.- Seguros (Va <sup>s</sup> ) / Ha	\$0.07
% de mantenimiento(%), (Q)	70.00	5.- Impuestos Ga / Ha	\$1.37
Valor de rescate (%) (r)	10.00	6.- Factor de utilización 12 / Ma	1.20
Tasa de interés (i)	8.70		\$4.57
Gastos anuales (Ga)	\$3,200.00	<b>CARGOS POR CONSUMO</b>	
Meses activos (Ma)	10.00	CLAVE	UNIDAD
		GAS-01	LT
		LUB-01	LT
Gasolina Magna-Sin GAS-01	\$5.04	0	\$0.00
Aceite P/motor gasolina LUB-01	\$22.00	0	\$0.00
		0	\$0.00
			\$27.03
		<b>CARGOS POR OPERACIÓN</b>	
		CLAVE	UNIDAD
Operador OP-01		OP-01	JOR
			0.1250
			\$0.00
			\$0.00
		TOTAL COSTO HORARIO (FIJ+CON+OP) : \$31.60	

#### 4.1.2 COSTOS INDIRECTOS.

Los costos indirectos son todos los gastos que realiza el contratista para la ejecución de los trabajos pero que por su naturaleza no se ven reflejados directamente en ella. Los costos indirectos se pueden analizar y estimar previamente dentro de un orden de aproximación de los costos directos y se pueden clasificar como:

**Administración central.-** Toda empresa debe tener cuerpos administrativos que estén encargados de conducir, controlar y vigilar todas las operaciones propias de la empresa, así como, de servir de enlace entre las diversas dependencias que forman parte de dicha administración.

**Administración y gastos generales de obra.-** Este factor presenta un rango de variación demasiado amplio, el cual puede variar por lo general entre el 5 y 20 % del costo directo total de la obra, este grupo lo podemos desglosar en los siguientes aspectos:

- a) **Honorarios, sueldos y prestaciones.** Son todas las erogaciones originadas por el personal técnico - administrativo que en el campo, dirige y supervisa la ejecución de los trabajos (Seguro social, Pasajes y viáticos, compensaciones y gratificaciones, consultores, etc.).
- b) **Previsiones generales.** Se involucran todas las provisiones relativas a la mano de obra, equipo y materiales (aumentos de salarios, horas extras y días festivos, salarios muertos por condiciones climatológicas, horas ociosas del equipo, etc.).
- c) **Instalaciones y obras provisionales.** Son todas las erogaciones relativas a la construcción de las obras e instalaciones auxiliares, necesarias para el desarrollo de la obra misma (campamento, oficinas, talleres, bodegas, comedores, dormitorios, caminos de acceso, señalamientos, etc.).
- d) **Transportes, fletes y acarreos.** Son los gastos originados por consumo y amortización de vehículos del servicio de la obra, fletes de materiales y equipo.
- e) **Gastos de oficinas.** Son todos los gastos que se pueden generar en la oficina (papelería, correo, teléfono, radio, consumo de luz, amortización de equipo de ingeniería, muebles y enseres, etc.).
- f) **Varios.** Todo tipo de erogaciones generadas por sindicatos, control de calidad, riesgos de obra terminada - reclamaciones -, conservación de las obras hasta su entrega.

**Seguros y Fianzas.**- En este caso entra todo lo referente a fianzas, seguros, impuestos, multas, recargos, regalías por patentes, etc. En la práctica se estima un porcentaje entre el 1 y el 5% del costo total de la obra.

**Imprevistos.**- El ambiente en que se trabaja es muy cambiante y peligroso, donde en cualquier momento puede ocurrir un mal cálculo, modificaciones de proyecto, un accidente, demoras, etc., con lo cual, se trata de superponer con alguna base razonable los cargos de previsión para el mayor número posible de contingencias. El porcentaje depende del grado de incertidumbre y puede variar del 2 al 20 % del costo directo total de una obra.

### 4.1.3 FINANCIAMIENTO

En cualquier tipo de obra, se realizan erogaciones desde el inicio de los trabajos, mientras que por otro lado se deben esperar ciertos lapsos de tiempo antes de cobrar la obra ejecutada, lo que convierte a la empresa en un financiero a corto plazo.

El monto de los financiamientos dependerá de la relación que exista entre el programa previsto de erogaciones (programa general de obra) y el programa esperado de ingreso (forma de pago establecida). En la práctica se estima un porcentaje entre 0 y 5% del costo total de la obra.

Este rubro del costo se acostumbraba incluirlo en los costos indirectos, actualmente las dependencias gubernamentales lo solicitan fuera de este.

### 4.1.4 UTILIDAD

La utilidad se puede interpretar como la remuneración equitativa y dependiente de cada empresa, es decir, es la ganancia que se busca obtener para la supervivencia, mejoramiento, continuidad y desarrollo de la empresa.

La utilidad se expresa como un porcentaje de la suma del costo directo total y de los costos indirectos, su monto depende del riesgo a que está sujeto el contratista; entre otros factores se tienen, grado de dificultad, técnica de la obra, localización, plazo para ejecutarse, magnitud de la obra, etc.

El porcentaje de utilidad resulta ser muy variado y depende de las políticas de cada empresa.

## 4.2 BASES DE PAGO

La forma de pago es muy importante, pues de ella se deriva como es que se deben integrar los precios unitarios para presupuestar y, por tanto, la organización administrativa de la obra. La forma de pago normalmente la establece el cliente, generalmente dependencias gubernamentales, de acuerdo con sus lineamientos y reglamentaciones. Para cualquier trabajo de colocación de carpeta de concreto hidráulico se establecen dos bases de pago para la remuneración del contratista:

- Pago por metro cuadrado
- Pago por metro cúbico

En la práctica no existe una diferencia de trascendencia entre ambas bases de pago, simplemente se toma la que satisfaga los intereses del cliente. Si bien, el contratista tiene la oportunidad de elegir dicha base, lo hará en función del tipo de obra a ejecutar.

### 4.2.1 PAGO POR METRO CUADRADO.

Esta base de pago consiste en la integración del precio unitario de carpeta colocada, incluyendo la colocación, acabado, curado, refuerzo del concreto, aserrado, sello de las juntas, etc., tomando como parámetro el metro cuadrado ( $m^2$ ), medido en la superficie de la carpeta.

Esta integración tiene como ventaja para el cliente que el pago sólo se realiza sobre la cantidad exacta de concreto colocado, sin considerar desperdicios o aumentos en el espesor de la losa por defectos en la terracería. Estructuralmente los pequeños aumentos en el espesor, proporcionan una mayor capacidad de carga en el pavimento de concreto.

Desde el punto de vista del constructor, en esta forma de pago se debe cuidar que las terracerías no presenten grandes deformaciones que pudiesen influir en un aumento en el volumen de concreto, no previsto en los desperdicios contemplados en el precio unitario. Se recomienda que los incrementos en los espesores estén en el rango del 3 al 7% del espesor



de diseño. Por otra parte se requiere tener un control con respecto al concreto premezclado surtido para no tener mermas de consideración por esta parte.

El pago por metro cuadrado no es recomendable en trabajos de rehabilitación de carpetas de concreto asfáltico, conocido normalmente como Whitetopping, pues es difícil establecer con precisión el volumen requerido de concreto.

#### **4.2.2 PAGO POR METRO CÚBICO**

El pago por metro cúbico ( $m^3$ ) se establece a partir del volumen de concreto surtido y colocado. En este precio se incluyen todos los trabajos necesarios para la correcta colocación y funcionamiento del pavimento.

Para determinar el volumen de concreto usado, se recomienda llevar un registro del volumen correspondiente a cada camión mezclador de concreto. Las cantidades deben registrarse en el punto de colocación. Posteriormente, cliente y contratista pueden ponerse de acuerdo sobre el volumen real de concreto colocado, al sumar los volúmenes registrados en los comprobantes de cada una de las ollas entregadas y colocadas.

El precio por metro cúbico presenta como características que no es necesario un estricto control volumétrico del concreto surtido. Se pueden atacar terracerías con deformaciones considerables sin temor a tener pérdidas en el concreto.

Es muy común su uso en trabajos de Whitetopping, pues se desconoce el volumen exacto de concreto a emplear antes de iniciar los trabajos. Con esta base de pago se coloca el concreto necesario y al final se negocia el volumen real.

### 4.3 EJEMPLOS DE PRECIO UNITARIO.

En esta sección se presenta un ejemplo de la integración del precio unitario por metro cuadrado y otro similar por metro cúbico.

Para la realización de ambos presupuestos se consideran las siguientes características del proyecto:

- Carpeta de concreto hidráulico de 18 cm de espesor, ancho de calzada de 7m dividida en tableros de 3.50 m x 3.50 m, colocada con rodillo pavimentador Roller screed.
- Concreto premezclado  $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$ , T.M.A. 40 mm, Aditivos de línea.
- Barras de amarre con varilla corrugada del #4 de 75 cm de longitud colocadas a cada 75 cm.
- Barras pasajuntas, sólo en juntas de construcción, de acero redondo liso de 1" de diámetro y 46 cm de longitud espaciadas a cada 30 cm.
- Curado del concreto con membrana de base agua-parafina.
- Aserrado de juntas con disco diamantado/húmedo.
- Ubicación de la obra en zona económica C.

Los ejemplos están presentados de la siguiente manera. Primero se muestra el presupuesto desglosado del precio unitario correspondiente a la construcción de la carpeta, después los análisis (integrados) de cada uno de los conceptos del presupuesto y por último, dos ejemplos de los números generadores usados para determinar las cantidades que integran los análisis. Es decir, el precio unitario se presenta de lo general a lo particular.

Los análisis de cada concepto están compuestos por los materiales, mano de obra (cuadrillas) y equipos que fueron presentados en la sección 4.1 Costos. Los precios de mano de obra, materiales y equipo, corresponden al mes de mayo del 2000.

## 4.3.1 PRECIO UNITARIO POR METRO CUADRADO.

## A) PRESUPUESTO DESGLOSADO.

## COLOCACIÓN DE CARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PCH-001	Suministro y colocación de cimbra metálica en tableros de 3.00 m de largo por 18 cm de espesor. Incluye Mano de obra y Herramienta Menor.	m <sup>2</sup>	1	\$ 7.71	\$ 7.71
PCH-002	Suministro, colocación y consolidación de concreto hidráulico premezclado MR= 45 Kg/cm <sup>2</sup> con Rodillo Pavimentador Roller Screed, espesor de 18 cm y ancho de carril de 3.5 m. Incluye : Mano de obra, Equipo y Herramienta menor.	m <sup>2</sup>	1	\$ 233.36	\$ 233.36
PCH-003	Suministro y colocación de Barras de amarre del No. 4 de 75 cm de longitud @ 75 cm, Fy = 4200 Kg/cm <sup>2</sup> . Incluye Material, Mano de obra. Y Herramienta.	m <sup>2</sup>	1	\$ 1.31	\$ 1.31
PCH-004	Texturizado de la superficie de rodamiento con equipo manual, incluyendo rayado longitudinal y transversal. Incluye : Mano de obra, Herramienta y Equipo.	m <sup>2</sup>	1	\$ 1.57	\$ 1.57
PCH-005	Suministro y colocación de Membrana de curado Para pavimento de concreto hidráulico. Incluye : Material, Mano de obra y Equipo.	m <sup>2</sup>	1	\$ 4.05	\$ 4.05
PCH-006	Aserrado de Juntas transversales y longitudinales con cortadora de piso para concreto y disco diamantado. Incluye: Mano de obra y Equipo.	m <sup>2</sup>	1	\$ 5.63	\$ 5.63
PCH-007	Limpieza y sello de juntas transversales y longitudinales. Incluye: Material , Mano de obra y Equipo.	m <sup>2</sup>	1	\$ 10.44	\$ 10.44
PHC-008	Suministro y colocación de pasajuntas de acero redondo liso de 1" de diámetro y 46 cm de longitud @ 30 cm en Juntas transversales de construcción. Incluye : Material y Mano de obra.	m <sup>2</sup>	1	\$ 0.39	\$ 0.39
PCH-009	Dobles a 90° y enderesado de barras de amarre en junta longitudinal. Incluye Mano de obra y Herramienta menor.	m <sup>2</sup>	1	\$ 0.12	\$ 0.12
PCH-010	Descimbrado de pavimento de concreto hidráulico. Incluye : Mano de obra, acarreos y herramienta menor.	m <sup>2</sup>	1	\$ 1.43	\$ 1.43
				TOTAL =	\$ 266.01
					P.U. /m2

**B) ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.**

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PCH-001	Suministro y colocación de cimbra metálica en tableros de 3.00 m de largo por 18 cm de espesor. Incluye: Material, mano de obra y herramienta menor	M2			
<b>MATERIALES</b>					
	Tablero de obra metálica de 3.05 m de largo por 18 cm de peralte	m	0.0205	\$196.67	\$4.03
	Varilla del No. 4 con longitud de 30 cm para anclaje de cimbra	kg	0.0114	\$5.60	\$0.06
	Desmoldante para cimbra	l	0.0121	\$14.74	\$0.18
				Subtotal =	\$4.27
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 1 PAV-CIM	JOR	0.0011	\$988.82	\$1.09
	Herramienta	%M.O	3	\$1.09	\$0.03
				Subtotal =	\$1.12
				Costo Directo	\$5.39
				Indirecto al 30 %	\$1.62
				Directo + Indirecto	\$7.01
				Utilidad al 10%	\$0.70
				Precio Unitario	\$7.71 / m <sup>2</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PCH-002	Suministro, colocación y consolidación de concreto hidráulico MR= 45 Kg/cm <sup>2</sup> con rodillo pavimentador Roller Screed de 18 cm de espesor y ancho de 3.5 m.	M2			
<b>MATERIALES</b>					
	Agua para riego de la superficie	m <sup>3</sup>	0.0065	\$125.00	\$0.81
	Concreto premezclado MR = 45 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0.1890	\$845.90	\$159.88
				Subtotal =	\$160.69
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 2 PAV-COL	JOR	0.0011	\$1,372.21	\$1.51
	Herramienta	%MO	3	\$1.51	\$0.05
				Subtotal =	\$1.55
<b>EQUIPO</b>					
	Rodillo pavimentador Roller Screed	HR	0.0061	\$123.31	\$0.75
	Vibrador para concreto con motor a gasolina	HR	0.0061	\$31.60	\$0.19
				Subtotal =	\$0.94
				Costo Directo	\$163.19
				Indirecto al 30 %	\$49.96
				Directo + Indirecto	\$212.14
				Utilidad al 10%	\$21.21
				Precio Unitario	\$233.36 / m <sup>2</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PCH-003	Suministro y colocación de barras de amarre del No. 4 de 75 cm de longitud @ 75 cm Fy = 4200 Kg/cm <sup>2</sup> . Incluye: Material, mano de obra y herramienta.	M2			
<b>MATERIALES</b>					
	Varilla corrugada del No. 4 cortada a 75 cm	kg	0.1491	\$5.60	\$0.83
				Subtotal =	\$0.83
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 10 PAV-BAR	JOR	0.0005	\$158.47	\$0.08
	Herramienta	%MO	3	\$0.08	\$0.00
				Subtotal =	\$0.08
				Costo Directo	\$0.92
				Indirecto al 30 %	\$0.27
				Directo + Indirecto	\$1.19
				Utilidad al 10%	\$0.12
				Precio Unitario	\$1.31 / m <sup>2</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD
PCH-004						M2
	Texturizado de la superficie de rodamiento con equipo manual, incluyendo rayado longitudinal y transversal. Incluye: Material, mano de obra, herramienta y equipo.					
<b>MATERIALES</b>						
	Tela de yute	m <sup>2</sup>	0 0007	\$18 52	\$0 01	
				Subtotal =		\$0 01
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 3 PAV-TEX	JOR	0 0011	\$854 99	\$0 94	
	Herramienta	%MO	15	\$0 94	\$0 14	
				Subtotal =		\$1 08
				Costo Directo		\$1 09
				Indirecto al 30 %		\$0 33
				Directo + Indirecto		\$1 42
				Utilidad al 10%		\$0 14
				Precio Unitario		\$1 57 / m <sup>2</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD
PCH-005						M2
	Suministro y colocación de membrana de curado para pavimento de concreto hidráulico [Incluye: Material, mano de obra y equipo manual de aspersión.					
<b>MATERIALES</b>						
	Membrana para curado Curatest Blanco	l	0 2262	\$11 50	\$2 60	
				Subtotal =		\$2 60
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 4 PAV-CUR	JOR	0 0011	\$178 69	\$0 20	
	Herramienta	%MO	3	\$0 20	\$0 01	
				Subtotal =		\$0 20
<b>EQUIPO</b>						
	Equipo para aspersión manual	HR	0 0061	\$4 70	\$0 03	
				Subtotal =		\$0 03
				Costo Directo		\$2 63
				Indirecto al 30 %		\$0 85
				Directo + Indirecto		\$3 68
				Utilidad al 10%		\$0 37
				Precio Unitario		\$4 05 / m <sup>2</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD
PCH-006						M2
	Construcción de juntas transversales y longitudinales de contracción mediante aserrado con cortadoras de piso para concreto. Incluye: Mano de obra y equipo.					
<b>MATERIALES</b>						
	Agua para cortadora	m <sup>3</sup>	0 0061	\$125 00	\$0 76	
				Subtotal =		\$0 76
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 5 PAV-COR	JOR	0 0022	\$424 67	\$0 93	
	Herramienta	%MO	2	\$0 93	\$0 02	
				Subtotal =		\$0 95
<b>EQUIPO</b>						
	Cortadora para concreto	HR	0 0086	\$68 05	\$0 59	
	Disco de diamante de 14" para concreto verde	HR	0 0086	\$190 51	\$1 64	
				Subtotal =		\$2 22
				Costo Directo		\$3 94
				Indirecto al 30 %		\$1 18
				Directo + Indirecto		\$5 12
				Utilidad al 10%		\$0 51
				Precio Unitario		\$5 63 / m <sup>2</sup>

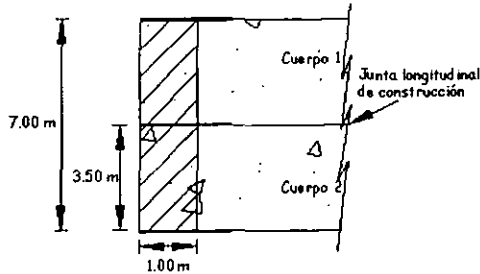
CLAVE PCH-007	Limpieza y sello de juntas transversales y longitudinales. Incluye: Material, mano de obra y equipo.	Incluye: Material, mano			UNIDAD M2
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIALES</b>					
	Agua adecuada para limpieza de juntas	m <sup>3</sup>	0.0069	\$125.00	\$0.86
	Tira de respaldo de espuma de poluretano	m	0.4500	\$1.25	\$0.56
	Sellador a base de poluretano Sikaflex 1A	l	0.0333	\$157.63	\$5.25
				Subtotal =	\$6.67
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 8 PAV-SELL	JOR	0.0011	\$360.65	\$0.40
	Herramienta	%MO	3	\$0.40	\$0.01
				Subtotal =	\$0.41
<b>EQUIPO</b>					
	Dispositivo para lavado y sellado de juntas	HR	0.0048	\$45.04	\$0.22
				Subtotal =	\$0.22
				Costo Directo	\$7.30
				Indirecto al 30 %	\$2.19
				Directo + Indirecto	\$9.49
				Utilidad al 10%	\$0.95
				Precio Unitario	\$10.44 / m <sup>2</sup>

CLAVE PCH-008	Suministro y colocación de pasajuntas de acero redondo liso de 1" de diámetro y 46 cm de longitud @ 30 cm en juntas transversales de construcción. Incluye: Material ...	Incluye: Material ...			UNIDAD M2
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIALES</b>					
	Acero redondo liso de 1" de diam y 46 cm	kg	0.0358	\$4.95	\$0.18
	Cimbra especial para cierre	pza	0.000037	\$550.00	\$0.02
				Subtotal =	\$0.20
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 8 PAV-PAS	JOR	0.0002	\$360.65	\$0.07
	Herramienta	%MO	3	\$0.07	\$0.00
				Subtotal =	\$0.07
				Costo Directo	\$0.27
				Indirecto al 30 %	\$0.08
				Directo + Indirecto	\$0.35
				Utilidad al 10%	\$0.04
				Precio Unitario	\$0.39 / m <sup>2</sup>

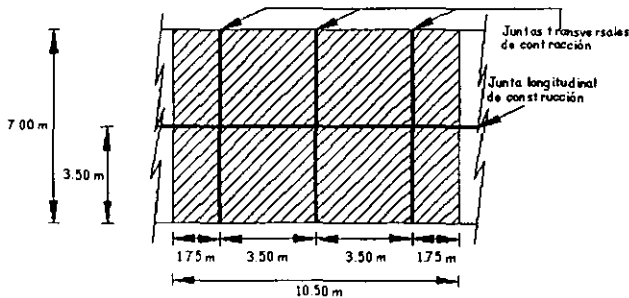
CLAVE PCH-009	Dobles a 90° y enderezado de barras de amarre en junta longitudinal. Incluye: Mano de obra y herramienta menor.	Incluye:			UNIDAD M2
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 9 PAV-DOB	JOR	0.0005	\$158.47	\$0.08
	Herramienta	%MO	3	\$0.08	\$0.00
				Subtotal =	\$0.08
				Costo Directo	\$0.08
				Indirecto al 30 %	\$0.02
				Directo + Indirecto	\$0.11
				Utilidad al 10%	\$0.01
				Precio Unitario	\$0.12 / m <sup>2</sup>

CLAVE PCH-010	Descimbrado de pavimento. Incluye: Mano de obra, herramienta y acarreo	Incluye: Mano de obra, herramienta y acarreo			UNIDAD M2
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 7 PAV-DES	JOR	0.0006	\$603.55	\$0.36
	Herramienta	%MO	3	\$0.36	\$0.01
				Subtotal =	\$0.37
<b>EQUIPO</b>					
	Camioneta de 3.5 Ton	HR	0.0051	\$123.31	\$0.63
				Subtotal =	\$0.63
				Costo Directo	\$1.00
				Indirecto al 30 %	\$0.30
				Directo + Indirecto	\$1.30
				Utilidad al 10%	\$0.13
				Precio Unitario	\$1.43 / m <sup>2</sup>

## C) NÚMEROS GENERADORES.

a) Cuantificación de cimbra [m/m<sup>2</sup>]

- a) Area de pavimento =  $1.00 \times 7.00 = 7.00 \text{ m}^2$
- b) Cantidad de cimbra = 3.00 m
- c)  $\text{m/m}^2 = 3.00/7.00 = 0.4286 \text{ m/m}^2$
- d) Usos =  $0.4286/25 = 0.0171 \text{ m/m}^2/\text{uso}$
- e) Desperdicio =  $0.0171 \times 1.20 = \underline{0.0205 \text{ m/m}^2/\text{uso}}$

b) Cuantificación de longitud de corte y sello de juntas [m/m<sup>2</sup>]

- a) Area de pavimento =  $10.50 \times 7.00 = 73.50 \text{ m}^2$
- b) Junta Longitudinal =  $1 \times 10.50 = 10.50 \text{ m}$
- c) Juntas transversales =  $3 \times 7.00 = 21.00 \text{ m}$
- d) Longitud de juntas =  $10.50 + 21.00 = 31.50 \text{ m}$
- e)  $\text{m/m}^2 = 31.50/73.50 = \underline{0.4286 \text{ m/m}^2}$

## 4.3.2 PRECIO UNITARIO POR METRO CÚBICO

## A) PRESUPUESTO DESGLOSADO.

## COLOCACIÓN DE CARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
PCH-001	Suministro y colocación de cimbra metálica en tableros de 3.00 m de largo por 18 cm de espesor. Incluye Mano de obra y Herramienta Menor.	m <sup>3</sup>	1	\$ 42.66	\$ 42.66
PCH-002	Suministro, colocación y consolidación de concreto hidráulico MR= 45 Kg/cm <sup>2</sup> con Rodillo Pavimentador Roller Screed, espesor de 18 cm y ancho de carril de 3.5 m. Incluye : Mano de obra, Equipo y Herramienta menor.	m <sup>3</sup>	1	\$ 1,296.02	\$ 1,296.02
PCH-003	Suministro y colocación de Barras de amarre del No. 4 de 75 cm de longitud @ 75 cm. Incluye Material y Mano de obra.	m <sup>3</sup>	1	\$ 7.29	\$ 7.29
PCH-004	Texturizado de la superficie de rodamiento del pavimento con equipo manual, incluyendo rayado longitudinal y transversal. Incluye : Mano de obra, Herramienta y Equipo.	m <sup>3</sup>	1	\$ 8.39	\$ 8.39
PCH-005	Suministro y colocación de Membrana de curado Para pavimento de concreto hidráulico. Incluye : Material, Mano de obra y Equipo.	m <sup>3</sup>	1	\$ 22.45	\$ 22.45
PCH-006	Aserrado de Juntas transversales y longitudinales con cortadora de piso para concreto y disco diamantado. Incluye: Mano de obra y Equipo.	m <sup>3</sup>	1	\$ 31.04	\$ 31.04
PCH-007	Limpieza y sello de juntas transversales y longitudinales. Incluye: Material , Mano de obra y Equipo.	m <sup>3</sup>	1	\$ 57.89	\$ 57.89
PHC-008	Suministro y colocación de pasajuntas de acero redondo liso de 1" de diámetro y 46 cm de longitud @ 30 cm en Juntas transversales de construcción. Incluye : Material y Mano de obra.	m <sup>3</sup>	1	\$ 2.15	\$ 2.15
PCH-009	Doblés a 90° y enderizado de barras de amarre en junta longitudinal. Incluye Mano de obra y Herramienta menor.	m <sup>3</sup>	1	\$ 0.65	\$ 0.65
PCH-010	Descimbrado de pavimento de concreto hidráulico. Incluye : Mano de obra, acarrees y herramienta menor.	m <sup>3</sup>	1	\$ 7.92	\$ 7.92
				TOTAL = \$ 1,476.47	
				P.U. /m <sup>3</sup>	



## B) ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

CLAVE	Suministro y colocación de cimbra metálica en tableros de 3.00m de largo por 18 cm de espesor Incluye: Material, mano de obra y herramienta menor	UNIDAD			
PCH-001		M3			
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIALES</b>					
	Tablero de cimbra metálica de 3.05 m de largo por 18 cm de peralte	m	0 1143	\$196 67	\$22 48
	Vanilla del No. 4 con longitud de 30 cm para anclaje de cimbra	kg	0 0631	\$5 60	\$0 35
	Desmoldante para cimbra	l	0 0672	\$14 74	\$0 99
				Subtotal =	\$23 82
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 1 PAV-CIM	JOR	0 0059	\$988 82	\$5 83
	Herramienta	%MO	3	\$5 83	\$0 18
				Subtotal =	\$6 01
				Costo Directo	\$29 83
				Indirecto al 30 %	\$8 95
				Directo + indirecto	\$38 78
				Utilidad al 10%	\$3 88
				Precio Unitario	\$42 66 / m <sup>3</sup>

CLAVE	Suministro, colocación y consolidación de concreto hidráulico MR= 45 Kg/cm <sup>2</sup> con rodillo pavimentador Roller Screed de 18 cm de espesor y ancho de 3.5 m.	UNIDAD			
PCH-002		M3			
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIALES</b>					
	Agua para riego de la superficie	m <sup>3</sup>	0 0362	\$125 00	\$4 53
	Concreto premezclado MR = 45 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1 0500	\$845 90	\$888 20
				Subtotal =	\$892 72
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 2 PAV-COL	JOR	0 0059	\$1,372 21	\$8 10
	Herramienta	%MO	3	\$8 10	\$0 24
				Subtotal =	\$8 34
<b>EQUIPO</b>					
	Rodillo pavimentador Roller Screed	HR	0 0339	\$123 31	\$4 18
	Vibrador para concreto con motor a gasolina	HR	0 0339	\$31 60	\$1 07
				Subtotal =	\$5 25
				Costo Directo	\$906 31
				Indirecto al 30 %	\$271 89
				Directo + indirecto	\$1,178 20
				Utilidad al 10%	\$117 82
				Precio Unitario	\$1,296 02 / m <sup>3</sup>

CLAVE	Suministro y colocación de barras de amarre del No. 4 de 75 cm de longitud @ 75 cm Fy = 4200 Kg/cm <sup>2</sup> . Incluye: Material, mano de obra y herramienta.	UNIDAD			
PCH-003		M3			
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIALES</b>					
	Vanilla corrugada del No. 4 cortada a 75 cm	kg	0 8283	\$5 60	\$4 64
				Subtotal =	\$4 64
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Cuadrilla 10 PAV-BAR	JOR	0 0028	\$158 47	\$0 44
	Herramienta	%MO	3	\$0 44	\$0 01
				Subtotal =	\$0 46
				Costo Directo	\$5 10
				Indirecto al 30 %	\$1 53
				Directo + indirecto	\$6 62
				Utilidad al 10%	\$0 66
				Precio Unitario	\$7 29 / m <sup>3</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD
PCH-004	Texturizado de la superficie de rodamiento con equipo manual, incluyendo rayado longitudinal y transversal. Incluye: Material, mano de obra, herramienta y equipo					M3
<b>MATERIALES</b>						
	Tela de yute	m <sup>2</sup>	0 0034	\$18 52	\$0 06	
				Subtotal =	\$0 06	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 3 PAV-TEX	JOR	0 0059	\$854 99	\$5 04	
	Herramienta	%MO	15	\$5 04	\$0 76	
				Subtotal =	\$5 80	
				Costo Directo	\$5 86	
				Indirecto al 30 %	\$1 76	
				Directo + Indirecto	\$7 62	
				Utilidad al 10%	\$0 76	
				Precio Unitario	\$8 39	/m <sup>3</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD
PCH-005	Suministro y colocación de membrana de curado para pavimento de concreto hidráulico. Incluye: Material, mano de obra y equipo manual de aspersión.					M3
<b>MATERIALES</b>						
	Membrana para curado Curafest Blanco	l	1 2567	\$11 50	\$14 45	
				Subtotal =	\$14 45	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 4 PAV-CUR	JOR	0 0059	\$178 69	\$1 05	
	Herramienta	%MO	3	\$1 05	\$0 03	
				Subtotal =	\$1 09	
<b>EQUIPO</b>						
	Equipo para aspersión manual	HR	0 0339	\$4 70	\$0 16	
				Subtotal =	\$0 16	
				Costo Directo	\$15 70	
				Indirecto al 30 %	\$4 71	
				Directo + Indirecto	\$20 41	
				Utilidad al 10%	\$2 04	
				Precio Unitario	\$22 45	/m <sup>3</sup>

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD
PCH-006	Construcción de juntas transversales y longitudinales de contracción mediante aserrado cortadoras de piso para concreto. Incluye: Mano de obra y equipo					M3
<b>MATERIALES</b>						
	Agua para cortadora	m <sup>3</sup>	0 0339	\$125 00	\$4 24	
				Subtotal =	\$4 24	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 5 PAV-COR	JOR	0 0118	\$424 67	\$5 01	
	Herramienta	%MO	2	\$5 01	\$0 10	
				Subtotal =	\$5 11	
<b>EQUIPO</b>						
	Cortadora para concreto	HR	0 0478	\$68 05	\$3 25	
	Disco de diamante de 14" para concreto verde	HR	0 0478	\$190 51	\$9 11	
				Subtotal =	\$12 36	
				Costo Directo	\$21 71	
				Indirecto al 30 %	\$6 51	
				Directo + Indirecto	\$28 22	
				Utilidad al 10%	\$2 82	
				Precio Unitario	\$31 04	/m <sup>3</sup>

CLAVE PCH-007	Limpieza y sello de juntas transversales y longitudinales Incluye Material, mano de obra y equipo	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD M3
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
<b>MATERIALES</b>						
	Aguá adoumda para limpieza de juntas	m <sup>3</sup>	0 0383	\$125 00	\$4 79	
	Tira de respaldo de espuma de poluretano	m	2 5001	\$1 25	\$3 13	
	Sellador a base de poluretano Sikaflex 1A	l	0 1851	\$157 63	\$29 18	
				Subtotal =	\$37 09	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 6 PAV-SELL	JOR	0 0059	\$360 65	\$2 13	
	Herramienta	%MO	3	\$2 13	\$0 06	
				Subtotal =	\$2 19	
<b>EQUIPO</b>						
	Dispositivo para lavado y sellado de juntas	HR	0 0267	\$45 04	\$1 20	
				Subtotal =	\$1 20	
				Costo Directo	\$40 48	
				Indirecto al 30 %	\$12 15	
				Directo + Indirecto	\$52 63	
				Utilidad al 10%	\$5 26	
				Precio Unitario	\$57 89	/ m <sup>3</sup>

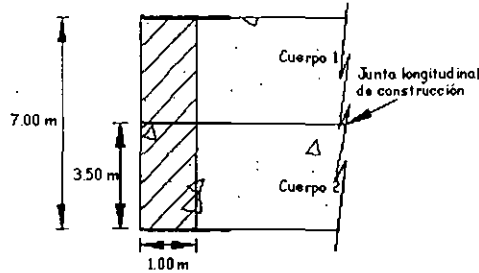
CLAVE PCH-008	Suministro y colocación de pasajuntas de acero redondo liso de 1" de diámetro y 46 cm de longitud @ 30 cm en juntas transversales de construcción. Incluye: Material	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD M3
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
<b>MATERIALES</b>						
	Acero redondo liso de 1" de diam Y 46 cm	kg	0 1992	\$4 95	\$0 99	
	Cebra especial para cierre	pza	0 0002	\$550 00	\$0 11	
				Subtotal =	\$1 10	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 8 PAV-PAS	JOR	0 0011	\$360 65	\$0 40	
	Herramienta	%MO	3	\$0 40	\$0 01	
				Subtotal =	\$0 41	
				Costo Directo	\$1 50	
				Indirecto al 30 %	\$0 45	
				Directo + Indirecto	\$1 95	
				Utilidad al 10%	\$0 20	
				Precio Unitario	\$2 15	/ m <sup>3</sup>

CLAVE PCH-009	Dobles a 90° y enderado de barras de amarre en junta longitudinal. Incluye: Mano de obra y herramienta menor.	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD M3
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 9 PAV-DOB	JOR	0 0028	\$158 47	\$0 44	
	Herramienta	%MO	3	\$0 44	\$0 01	
				Subtotal =	\$0 46	
				Costo Directo	\$0 46	
				Indirecto al 30 %	\$0 14	
				Directo + Indirecto	\$0 59	
				Utilidad al 10%	\$0 06	
				Precio Unitario	\$0 65	/ m <sup>3</sup>

CLAVE PCH-010	Descimbrado de pavimento. Incluye: Mano de obra, herramienta y acarreo	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	UNIDAD M3
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
<b>MANO DE OBRA</b>						
	Cuadrilla 7 PAV-DES	JOR	0 0033	\$603 55	\$1 99	
	Herramienta	%MO	3	\$1 99	\$0 06	
				Subtotal =	\$2 05	
<b>EQUIPO</b>						
	Camoneta de 3 5 Ton	HR	0 0283	\$123 31	\$3 49	
				Subtotal =	\$3 49	
				Costo Directo	\$5 54	
				Indirecto al 30 %	\$1 66	
				Directo + Indirecto	\$7 20	
				Utilidad al 10%	\$0 72	
				Precio Unitario	\$7 92	/ m <sup>3</sup>

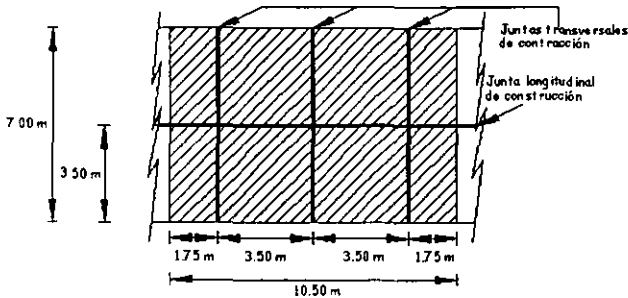
C) NÚMEROS GENERADORES.

a) Cuantificación de cimbra [m/m<sup>3</sup>]



- a) Area de pavimento = 1.00 x 7.00 = 7.00 m<sup>2</sup>
- b) Volumen = 7.00 x 0.18 = 1.26 m<sup>3</sup>
- c) Cantidad de cimbra = 3.00 m
- d) m/m<sup>3</sup> = 3.00/1.26 = 2.3809 m/m<sup>3</sup>
- e) Usos = 2.3809/25 = 0.0952 m/m<sup>3</sup>/uso
- f) Desperdicio = 0.0952 x 1.20 = 0.1143 m/m<sup>3</sup>/uso

b) Cuantificación de longitud de corte y sello de juntas [m/m<sup>3</sup>]



- a) Area de pavimento = 10.50 x 7.00 = 73.50 m<sup>2</sup>
- b) Volumen = 73.50 x 0.18 = 13.23 m<sup>3</sup>
- c) Junta Longitudinal = 1 x 10.50 = 10.50 m
- d) Juntas transversales = 3 x 7.00 = 21.00 m
- e) Longitud de juntas = 10.50 + 21.00 = 31.50 m
- f) m/m<sup>3</sup> = 31.50/13.23 = 2.3810 m/m<sup>3</sup>

# CAPÍTULO 5

**= CONTROL DE CALIDAD =**

## 5.1 NORMAS Y PRUEBAS PARA CONCRETO.

En la construcción de pavimentos de concreto es muy importante cuidar la calidad de los procesos constructivos. El control de calidad es un indicador que muestra que tan buenos o malos son los trabajos y el resultado que se puede esperar de ellos.

En lo referente al concreto, existen muchas variantes que pueden afectar a la calidad del pavimento, como contaminación de los agregados, mala colocación, mala consolidación, etc., por tanto, se debe tener en cuenta las siguientes pruebas.

### 5.1.1 CONCRETO FRESCO

#### A) MUESTREO DE CONCRETO FRESCO (ASTM-C-172-82 y NMX-C-161-1987).

Métodos para la obtención de muestras representativas de concreto fresco.

#### Equipo:

- Recipiente (cubeta, charola o carretilla) con capacidad mínima de 15 litros.
- Cucharón metálico.

#### Procedimiento:

- **Muestreo de la olla de camión mezclador.** La muestra se toma en tres o más intervalos, interceptando el flujo de la descarga. No se deberá tomar antes del 15% ni después del 85% de la misma.
- **Muestreo de mezcladora estacionaria.** Se interceptará el flujo de la descarga aproximadamente a la mitad del volumen para obtener la muestra.
- **Muestreo de pavimentadoras.** La muestra debe tomarse con el cucharón de por lo menos cinco puntos distintos del área del volumen descargado previamente. Se debe evitar la contaminación del concreto con el material de la sub-base o un contacto prolongado con una sub-base absorbente.

- La muestra debe ser suficiente para realizar cada una de las pruebas requeridas. Deberá remezclarse para asegurar su uniformidad.
- El periodo entre tomar la muestra y usarla no debe ser mayor a 15 minutos. Las pruebas de revenimiento y de contenido de aire deben iniciarse dentro de los cinco minutos después de tomar la muestra.

## **B) DETERMINACIÓN DEL REVENIMIENTO (ASTM-C-143-90 y NMX-C-156-ONNCCE-1997).**

Esta Norma establece el procedimiento para determinar la consistencia del concreto fresco mediante el revenimiento. No es aplicable en concretos con tamaño máximo del agregado mayor a 50 mm.

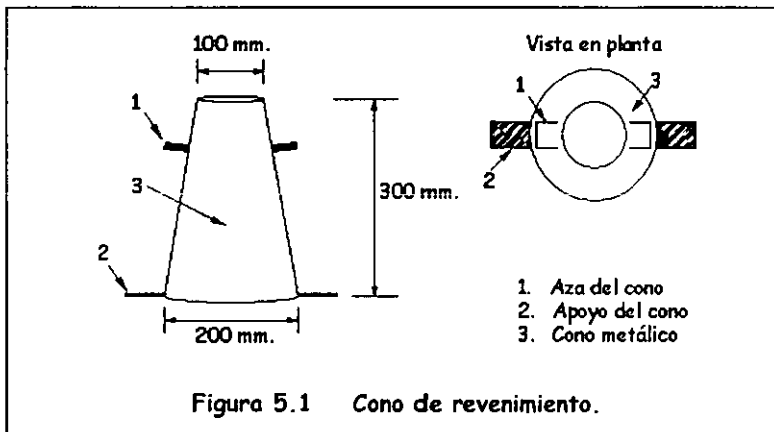
### **Equipo:**

- Molde de metal o material no absorbente, rígido, con forma de un tronco de cono de 20 cm de diámetro en la base, 10 cm en la abertura superior y 30 cm de altura, con tolerancia de  $\pm 3$ mm en cada una de sus dimensiones. Provisto con dos estribos para apoyar los pies y dos asas para levantarlo.
- Una varilla de acero sección circular de 16 mm (5/8") de diámetro, recta, lisa, aproximadamente 600 mm de longitud y con uno o dos extremos redondeados de forma semiesférica.
- Pala, Cucharón, Charola y Cinta métrica.

### **Procedimiento :**

1. Obtener la muestra de concreto, interceptando el flujo de la descarga con la charola, cuidando de no tomarla antes del 15% ni después del 85% de la carga de la olla.
2. Se humedece el molde y se coloca en una superficie plana, horizontal y no absorbente. El operador apoya los pies en los estribos para inmovilizar el molde.

3. Llenar el molde con tres capas aproximadamente de igual volumen. La primera corresponde aproximadamente a una altura de 7 cm, la segunda a 15 cm y la tercera al extremo del molde. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla distribuidas uniformemente sobre la sección de cada capa; al compactar la segunda y la última capa se debe cuidar que la varilla penetre la capa anterior 2 cm aproximadamente. La capa superior se tratará de mantener con un excedente de concreto durante la compactación, una vez terminada se enrasa mediante un movimiento de rodamiento de la varilla y se limpia el cono.
4. La operación para levantar el cono debe hacerse en 5 segundos  $\pm$  2 seg., alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torcional. La operación completa del paso 1 al 4 debe hacerse en no más de 2.5 minutos.
5. Medir el revenimiento, este es la diferencia de alturas entre la parte superior del cono y la parte superior del concreto asentado medido en su centro original.



### C) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE POR EL MÉTODO DE PRESIÓN (ASTM-C-231-91, NMX-C-157-1987).

Este método determina el contenido de aire incluido en el concreto fresco, mediante la observación en el cambio de volumen del concreto al sufrir un cambio de presión. Su uso resulta adecuado en concretos con agregados relativamente densos.



**Equipo:**

- Medidor de aire tipo "A", provisto con una tapa cónica de superficie interior inclinada aproximadamente un 20% con respecto a la horizontal, y al centro, de un tubo graduado, con un tapón con cierre hermético en su extremo, válvula de aire y una llave de purga.
- Varilla de acero lisa de 16 mm de diámetro con una o dos puntas de forma hemisférica.
- Regla para enrasar de solera de acero de 3 x 20 x 300 mm.
- Charola, Mazo de hule y Embudo.

**Procedimiento:**

1. El procedimiento inicia con la obtención de una muestra de la mezcla, con la que se llenará la base en tres capas iguales penetrando 25 veces cada capa con la varilla y golpeando los moldes de 10 a 15 veces con el mazo de hule después de compactar cada capa, enrasando la última capa para evitar el exceso.
2. Limpiar la superficie de la base y mojar el empaque de la cubierta; posteriormente abrir las válvulas de entrada y asegurar la cubierta con las abrazaderas.
3. Se retira el tapón superior y con la ayuda del embudo se vierte agua hasta la mitad del tubo; se coloca la mano en la parte superior y se agita el dispositivo ligeramente hasta que no salgan burbujas de aire, se cierran las válvulas de entrada y la válvula liberadora de aire.
4. Bombear aire dentro de la cámara hasta que la manecilla del manómetro se encuentre en la línea de presión inicial, una vez ajustado se abre la válvula de aire principal empujando hacia abajo la palanca de liberación, se golpea a los lados de la base y ligeramente la carátula del manómetro.
5. Finalmente se lee el resultado del contenido de aire de la carátula del manómetro y se libera la presión. La determinación consiste en la reducción en volumen del

aire en la muestra de concreto, al observar que el nivel del agua es menor que antes de la aplicación de presión.

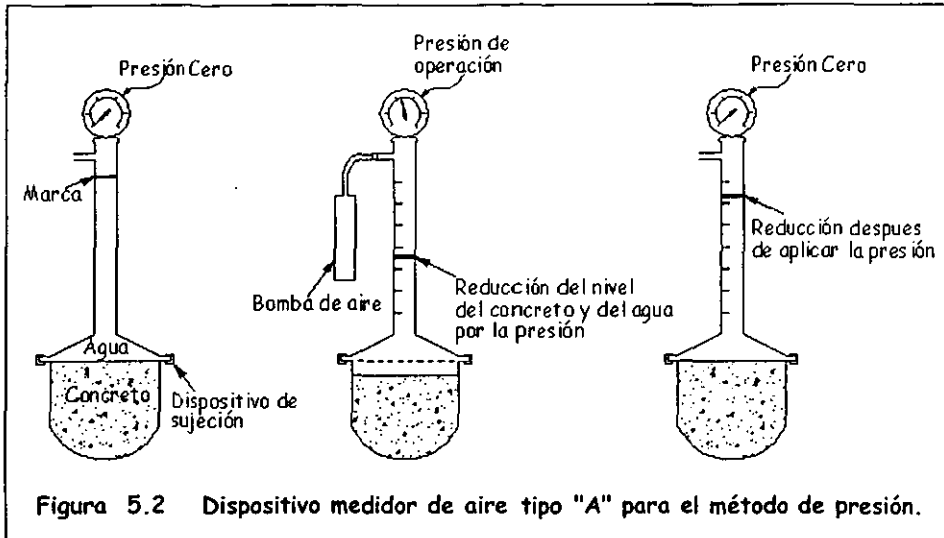


Figura 5.2 Dispositivo medidor de aire tipo "A" para el método de presión.

#### D) PRUEBA DE CONTENIDO DE AIRE POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO (ASTM-C-173-78, AASHTO T-196-80 y NMX-158-1987).

Este método determina el contenido de aire en el concreto fresco para cualquier tipo de agregado, densidad o concreto ligero.

##### Equipo:

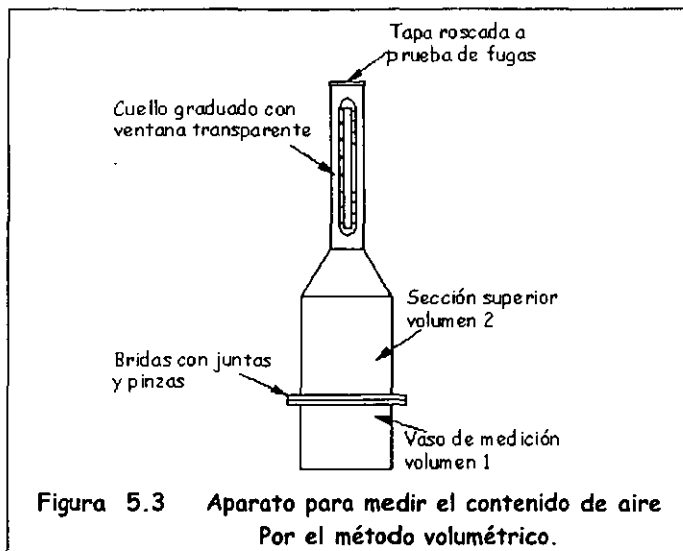
- Medidor de aire, compuesto por un tazón y una sección superior; el tazón es de metal delgado pero con una rigidez suficiente para resistir las pruebas en campo y los ataques de la pasta cementante; debe tener un diámetro de 1 a 1.25 veces la altura, una pestaña en o cerca del borde superior y una capacidad no menor a  $0.002 \text{ m}^3$ . La sección superior es del mismo material que el tazón pero con una capacidad por lo menos 20% mayor a este, el cual, tiene una probeta en la parte superior con un plástico transparente graduado por donde se puede observar para medir el contenido de aire. La probeta tiene en la parte superior una tapa atornillable para sellarla perfectamente y evitar la pérdida de agua o aire al momento de realizar la prueba.

- Varilla de acero liso de 16 mm de diámetro y mínimo 30 cm de largo con ambos extremos redondeados en forma semiesférica.
- Regla para enrasar de solera de acero de 3 x 20 x 300 mm.
- Taza de medida metálica con capacidad de  $1.03 \pm 0.04$  % del volumen del recipiente.
- Alcohol isopropílico.
- Embudo de metal, Pera de succión, Vasija de un litro, Cucharón y Mazo de hule.

**Procedimiento:**

1. La prueba se realiza colocando el concreto en tres capas iguales varillando cada capa 25 veces y golpeando ligeramente los lados del molde 10 a 15 veces con el mazo de hule después de compactar cada capa.
2. Enrasar la capa superior, limpiando las superficies de contacto de la base y del empaque de hule.
3. Se coloca la parte superior sobre el tazón y se asegura; se introduce el embudo y se llena de agua hasta llegar a la marca cero, el nivel se ajusta con ayuda de la pera de succión para luego colocar la tapa roscada y apretarla.
4. Se voltea el medidor y se agita hasta que el concreto se desprenda del fondo, se rueda y se sacude el medidor sobre la pestaña con el cuello ligeramente levantado por espacio aproximado de dos minutos; se coloca el medidor en la posición original sacudiendo ligeramente y se deja reposar hasta que el aire se acumule en la parte superior, repitiendo el rodado y sacudido hasta que no se observe reducción en la columna de agua (rodándose hacia delante y atrás aproximadamente 25 veces por cada repetición).
5. La espuma formada se elimina agregando alcohol isopropílico con una taza de medida en la parte superior.

6. El contenido de aire se obtiene leyendo directamente el cuello de la probeta (estimado al 0.1 por ciento más cercano) agregándole un uno por ciento por cada taza de alcohol incluida.



### E) DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO, CÁLCULO DEL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO (AASHTO-T-121-86, ASTM-C-138-81 y NMX-C-162-ONNCC-2000).

Este método determina el peso por metro cúbico (o yarda cúbica) del concreto fresco y da formulas para calcular el rendimiento y contenido de aire en el concreto. El rendimiento se define como el volumen de concreto producido por una mezcladora conociendo las cantidades de los materiales que lo componen. El método no es aplicable a concretos secos o de bajo revenimiento. La determinación del contenido de aire por este método es exclusivamente para concretos con aire incluido por medio de aditivos.

#### Equipo:

- Bascula con precisión de 0.1 %.
- Varilla de acero de 16 mm de diámetro, aproximadamente 600 mm de longitud y con uno o dos extremos redondeados de forma semiesférica.

- Vibrador interno con frecuencia de 7,000 vibraciones por minuto o mayor.
- Recipiente para medición metálico, de forma cilíndrica provisto con dos manijas. El borde superior debe ser plano con tolerancia de  $\pm 0.5$  mm, de dimensiones según lo requiera la prueba.
- Placa enrasadora rectangular de cuando menos 6 mm de espesor con una longitud y un ancho de cuando menos 50 mm mayor que el diámetro del recipiente.

**Procedimiento:**

1. Obtener el peso del recipiente vacío.
2. Obtener una muestra de concreto, colocarla en el recipiente y compactarla.
3. El método establece dos formas para compactar el espécimen, con varilla o con vibrador de inmersión. Para determinar la forma adecuada se tienen los siguiente criterios: En recipientes con capacidad menor a 10 litros se compactará la muestra con varilla y en recipientes de capacidad de 10 litros o mayores puede ser por varillado o por vibración interna. En el caso de recipientes de 10 litros o mayores el método se selecciona en función del revenimiento de la mezcla; para un revenimiento mayor a 70 mm se deberá varillar el concreto; con revenimiento entre 50 y 70 mm se podrá varillar o vibrar indistintamente; los concretos con revenimientos menores a 50 mm se deberán vibrar. Una vez establecido el método más apropiado se procede al paso 4 o al paso 5, según sea el caso.
4. Tomar una muestra de la mezcla para llenar el recipiente en tres capas iguales varillando cada una 25 veces si el volumen es de 14 litros ó menos y 50 veces si es de 28 litros. La varilla deberá penetrar la capa inferior por completo pero sin golpear el recipiente. Para las capas superiores la varilla debe penetrar aproximadamente 20 mm en la capa inmediata inferior. Terminada la compactación de cada capa se debe golpear ligeramente los lados del recipiente con el mazo de hule, de 10 a 15 golpes, para eliminar huecos grandes de aire en la superficie.

5. Llenar el recipiente con dos capas iguales, para la vibración, se inserta el vibrador en tres puntos diferentes de cada capa evitando tocar las paredes del recipiente, el vástago se debe retirar lentamente para no dejar bolsas de aire en la muestra. Un vibrado adecuado es cuando la superficie se vuelve relativamente lisa y el agregado grueso tiende a desaparecer.
6. Una vez compactado no debe haber exceso (3 mm es óptimo) o falta de concreto. Se enrasa la superficie con la placa enrasadora, haciendo presión con ella en la superficie de manera que se cubran dos tercios de ella para posteriormente retirarla con un movimiento de sierra; con varias pasadas inclinado el enrasador se obtiene un terminado pulido de la superficie del concreto.
7. Se limpian los lados y el fondo para evitar afectar los resultados; se pesa el recipiente con el concreto para obtener el peso total.

#### Cálculos:

**PESO UNITARIO O VOLUMÉTRICO.** Para calcular el peso unitario ( $M_u$ ) se resta el peso del recipiente vacío al peso total y se divide entre el volumen del recipiente.

**RENDIMIENTO.** El rendimiento " $R$ " es el volumen real de concreto obtenido y se calcula dividiendo el peso total de los materiales mezclados " $M_1$ " (agua, agregados, cemento y aditivos), entre el peso unitario " $M_u$ ";

**RENDIMIENTO RELATIVO.** El rendimiento relativo " $R_r$ " se calcula dividiendo el volumen real de concreto obtenido " $R$ " muestreado entre el volumen de diseño teórico " $V_t$ ". Un rendimiento relativo mayor que uno indica que se produce concreto en exceso, en tanto que un valor menor de uno indica que se produce un volumen menor a lo diseñado.

**CONTENIDO DE AIRE.** El contenido de aire se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{M_t - M_u}{P_t} \times 100$$

o bien

$$A = \frac{R - V_o}{R} \times 100$$

Donde :

A = Contenido de aire en el concreto, en %.

Mt = Masa teórica del concreto.

$$M_t = \frac{P_t}{V_a}$$

Mu = Masa unitaria (peso unitario) del concreto, en Kg/m<sup>3</sup>.

R = Volumen real de concreto obtenido, en m<sup>3</sup>.

Va = Volumen total absoluto de los ingredientes que componen la mezcla, en m<sup>3</sup>. Este volumen es igual al cociente de la masa de dicho ingrediente en kilogramos, dividida entre mil veces la masa específica; para los agregados debe ser el que corresponda a la condición de saturados y superficialmente secos. La masa específica del cemento puede considerarse con un valor de 3.10.

Pt = Masa total de todos los materiales incluidos en una revoltura, en Kg.

## **F) ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (ASTM-C-31-80 y NMX-C-160-1987).**

Esta norma establece los procedimientos para elaborar, en obra, especímenes de concreto para pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión.

### **Equipo:**

- Moldes cilíndricos de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro, hechos de acero, fofo, o de un material no absorbente y rígido.
- Moldes rectangulares de sección transversal de 15 X 15 cm y longitud de por lo menos 5 cm mayor que 3 veces el peralte de la viga, hechos de acero, fofo, o de un material no absorbente y rígido.

- Varilla de acero de 16 mm de diámetro, aproximadamente 60 cm de longitud y con uno o dos extremos redondeados de forma semiesférica.
- Vibrador interno con frecuencia de 7,000 vibraciones por minuto o mayor.
- Recipiente para medición metálico, de forma cilíndrica provisto con dos manijas. El borde superior debe ser plano con tolerancia de  $\pm 0.5$  mm, de dimensiones según lo requiera la prueba.
- Equipo para medir el contenido de aire cuando sea requerido.
- Equipo para revenimiento.
- Charola, pala, cuchara de albañil, cucharón, enrasador, reglas y escantillones.

**Procedimiento:**

1. Obtener una muestra de concreto y remezclarla en la charola, para prevenir la segregación.
2. Vaciar el concreto en los moldes con una distribución homogénea, de acuerdo al número de capas y método de compactación indicado en la tabla T5.1.

T5.1 NÚMERO DE CAPAS Y MÉTODO DE COMPACTACIÓN PARA LOS ESPÉCIMENES			
ALTURA DEL ESPÉCIMEN (cm)	NÚMERO DE CAPAS	ESPESOR APROXIMADO DE LA CAPA (cm)	FORMA DE COMPACTACIÓN
<b>CILINDROS</b>			
30	3 iguales	10	Varillado
Más de 30	las requeridas	10 o fracción	Varillado
De 30 a 45	2 iguales	La mitad de la profundidad	Vibrado
Más de 45	3 ó más	15 ó lo más cercano posible	Vibrado
<b>VIGAS</b>			
De 15 a 20	2 iguales	La mitad de la profundidad	Varillado
Más de 20	3 ó más	10 o fracción	Varillado
De 15 a 20	1	Profundidad del espécimen	Vibrado
Más de 20	2 ó más	20 o lo más cercano posible	Vibrado



## Consideraciones:

- a) Los concretos con revenimiento menor a 3 cm deberán vibrarse, los de 3 a 8 cm podrán vibrarse o varillarse, los mayores de 8 cm deberán varillarse.
  - b) El varillado para cilindros será de 25 penetraciones por capa. Para vigas se requiere una penetración por cada 10 cm<sup>2</sup> de superficie del espécimen.
  - c) Cuando se emplea vibrador, deberá ser durante el tiempo necesario para que el agregado grueso comience a desaparecer de la superficie y ésta muestre un aspecto relativamente liso.
3. Se enrasa la superficie del concreto y, si no se indica el tipo de acabado, se dejará una superficie plana y uniforme.
4. Curado de los especímenes.
- a) Cilindros. Durante las primeras 24 horas se deben almacenar a una temperatura de entre 16 y 27° C. Pasadas las 24 Hrs se retiran del molde y se almacenan en condición húmeda a una temperatura de  $23^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C hasta el día de la prueba.
  - b) Vigas. El procedimiento es similar al de los cilindros, salvo que, se deben retirar del molde entre 24 y 48 horas y deben almacenarse mínimo 20 horas antes de la prueba en agua satura de cal a  $23^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C ( $296 \pm 2^{\circ}$  K).
5. Trasladar los cilindros y vigas al laboratorio empacados en cajas resistentes, de madera u otro tipo de recipientes, arropados con arena, aserrín u otro material adecuado para el empaque. Las vigas deben ser llevadas con el eje longitudinal en posición vertical. Al llegar al laboratorio se deberán colocar los especímenes en el cuarto de curado a  $23^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C.

### 5.1.2 CONCRETO ENDURECIDO.

#### A) DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO (ASTM-C-39-86 y NMX-C-83-ONNCCE-1997).

Este método determina la fuerza de compresión de los cilindros de concreto hechos con molde y corazones extraídos de las losas. El método consiste en aplicar una fuerza axial de compresión a los cilindros, la cual se va registrando en los instrumentos de medición. Los valores que se obtienen dependen del tamaño y la forma del espécimen, la dosificación, los procedimientos de mezclado, el procedimiento de muestreo, el molde, la edad, condiciones de humedad y temperatura durante el curado.

La prueba se debe realizar con la humedad que contenga el cilindro recién curado; se cabecea el cilindro para uniformizar las superficies sobre las que se van a cargar (de acuerdo con las normas AASHTO-T-231, ASTM-C-617-73 y NMX-C-109-1985); se coloca el espécimen en el plato de soporte y se alinea con el plato de compresión; se aplica la carga con continuidad sin interrupciones o cambios bruscos a una velocidad que puede variar entre 84 y 210 Kg/cm<sup>2</sup>/min (137 a 343 KPa/s), la carga se aplica hasta que el espécimen falle, anotando la carga máxima soportada por el cilindro durante la prueba, observando el tipo de falla que se presente.

Para calcular el esfuerzo de compresión del espécimen se divide la carga máxima alcanzada por el cilindro durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal, según la siguiente expresión.

$$s = \frac{P}{a} \quad \text{O bien} \quad s = 1.2732 \frac{P}{d^2}$$

Donde:

$s$  = Resistencia a la compresión, en Kg/cm<sup>2</sup>

$P$  = Carga máxima aplicada, en Kg.

$a$  = Área promedio de la sección transversal del cilindro, en cm<sup>2</sup>.

$d$  = Diámetro promedio del espécimen, en cm.

Si la relación entre la altura y el diámetro del cilindro es menor a 1.80, el resultado de la prueba debe corregirse por esbeltez, de acuerdo con la siguiente tabla. Si la relación es mayor a 2.10 el espécimen debe recortarse antes de iniciar la prueba.

T5.2 FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ	
RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.00	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

El registro de los resultados debe contener la clave de identificación del espécimen, edad, diámetro, altura y área de la sección transversal, así como el peso del cilindro, carga máxima, resistencia a la compresión y las observaciones pertinentes hechas durante la prueba.

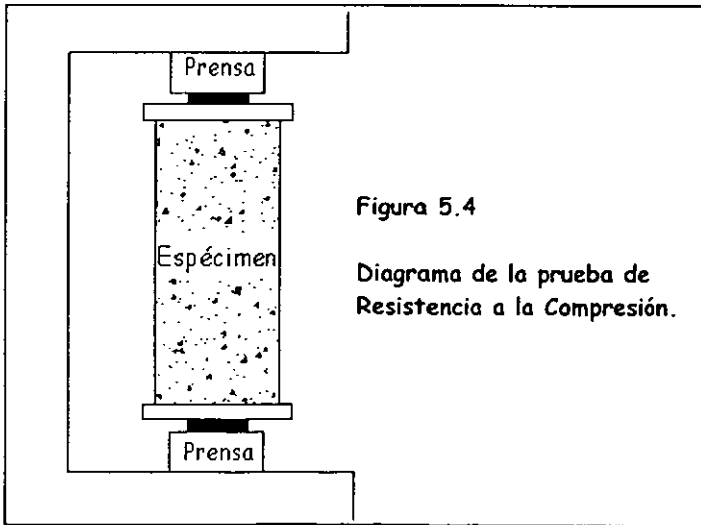


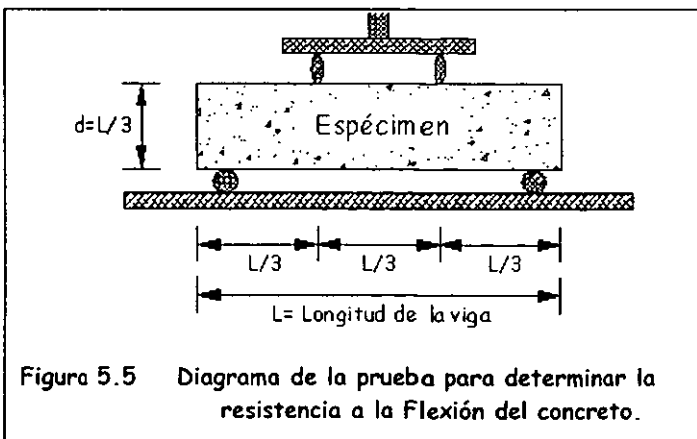
Figura 5.4  
Diagrama de la prueba de Resistencia a la Compresión.

**B) DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN LOS TERCIOS (AASTHO-T-97-86, ASTM-C-78-84 y NMX-C-191-1986).**

Este es un método que nos ayuda a determinar la resistencia a la flexión del concreto, usando una viga simplemente apoyada sometida a una carga aplicada en los tercios de la misma.

El procedimiento a seguir consiste en, colocar la viga en los soportes, centrándola con relación a la carga aplicada. Se aplica la carga hasta quedar en contacto con la superficie del espécimen y las barras de soporte en los tercios del claro. Es importante examinar el sistema de carga para ver que se mantenga un contacto uniforme y que no existan huecos a los lados del espécimen, si existen dichos huecos se pueden utilizar pedazos de piel de igual longitud que el ancho de la viga para distribuir la carga uniformemente.

Utilizando una velocidad de carga constante y sin incrementos bruscos, se aplica la carga hasta que ocurra la falla, registrando la carga final. Posteriormente se determina el ancho y profundidad promedio de la viga, para esto se realizarán tres mediciones del espesor y tres del ancho en el plano de la fractura del espécimen, el resultado se redondeará al milímetro.



Si la fractura inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio del claro, el cálculo del módulo de ruptura es el siguiente:

$$R = \frac{Pl}{bd^2}$$

Donde :

R = Módulo de ruptura

P = Carga máxima de la máquina

L = Longitud del claro

b = Ancho promedio del espécimen

d = Profundidad promedio de la viga

Si la fractura ocurre en la zona de tensión, pero fuera del tercio medio del claro, por no más del 5% de la longitud del claro, el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura

P = Carga máxima de la máquina

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medida en la superficie de tensión de la viga.

b = Ancho promedio del espécimen

d = Profundidad promedio de la viga

Si la fractura se presenta en la zona de tensión fuera del tercio medio del claro, pero mayor del 5% de la longitud del claro, hay que descartar los resultados de dicha prueba.

El registro de los resultados debe contener la clave de identificación de la viga, edad, ancho, espesor, longitud, carga máxima, resistencia a la flexión y las condiciones físicas del espécimen.

La determinación de la resistencia a la flexión es también conocida como módulo de ruptura (MR), el cual da la pauta para el diseño de la losa del pavimento. Los valores recomendados para el módulo de ruptura varían entre los 41 kg/cm<sup>2</sup> (583 PSI) y los 50 kg/cm<sup>2</sup> (711 PSI) a los 287 días.

De acuerdo con la experiencia de algunos organismos, como la AASHTO, se recomiendan algunos valores del MR para el diseño de diferentes tipos de pavimento.

<b>T5.3 VALORES DE MR PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS</b>		
<b>TIPO DE PAVIMENTO</b>	<b>MR RECOMENDADO</b>	
	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PSI</b>
Autopistas	48.00	682.70
Carreteras	48.00	682.70
Zonas Industriales	45.00	640.10
Pavimentos urbanos principales	45.00	640.10
Pavimentos urbanos secundarios	42.00	597.40

## 5.2 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

### 5.2.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.

El estudio de evaluación de un pavimento rígido construido debe enfocarse también a las condiciones estructurales de todo en conjunto: losa, Sub-base, subrasante, terracerías y el terreno de cimentación.

La capacidad de carga de un pavimento es la medida de la deformación no permanente provocada por la aplicación de cargas repetitivas; dicha capacidad puede determinarse mediante diferentes procedimientos, como la Viga Benkelman con la cual se pueden medir las deflexiones del pavimento bajo la aplicación de una carga estática. El funcionamiento de la viga se basa en el principio de la palanca y consiste en una solera de aluminio que oscila alrededor de un eje sujeto a un perfil tipo canal, colocándose directamente sobre la superficie del pavimento en posición sensiblemente paralela a la superficie de rodamiento.

Dichos estudios de evaluación se concretan a determinar la deflexión en un punto bajo la carga máxima, producido por el peso de un camión debidamente lastrado, con un peso de 8.2 Ton en el eje trasero, llantas en dual y con una presión de inflado de 5.8 Kg/cm<sup>2</sup>.

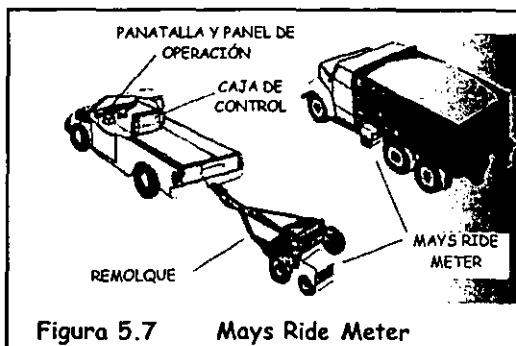
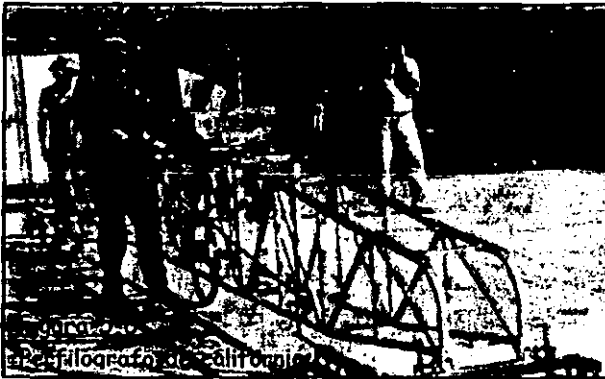
La prueba consiste en colocar al camión de manera que el eje trasero coincida con el inicio del tramo a estudiarse; se introduce la punta de la viga benkelman en medio de las ruedas dual, de tal manera que su colocación resulte sensiblemente paralela a las caras de las llantas y que el palpador coincida con el centro del eje; se da suficiente carrera al extensiómetro, ya que su funcionamiento es regresivo, se hace funcionar un zumbador y se anota la lectura del extensiómetro, siendo la lectura inicial; el camión avanza hacia delante una velocidad baja, deteniéndose hasta el siguiente punto de toma de lectura (Fuera del área de influencia del bulbo de deformación), leyéndose la salida y registrándose como la lectura final (resultando ser menor que la inicial). La diferencia de lecturas inicial y final indicará el movimiento de la solera, que multiplicada por la relación de brazos proporciona la deflexión.

También se puede medir el peso de los vehículos en movimiento, con el efecto de contar con los datos de las cargas de los diferentes vehículos que transitan por el camino;

dichos datos permiten determinar la vida residual de la estructura del pavimento si se compara con los datos de diseño. Los datos obtenidos servirán para el cálculo de los ejes sencillos equivalentes, mismos que se utilizan en el diseño de pavimentos como aplicación de cargas a la estructura.

Para este estudio se puede emplear un equipo portátil o uno fijo; con el portátil, conocido como WIM (Weigth In Motion), se conoce el peso bruto de los diferentes vehículos que transitan el camino, determinándose los pesos parciales por el eje o por grupos de estos. La forma de medición se realiza a través del análisis de fuerzas que no es otra cosa más que la fuerza resultante de la velocidad, el espacio entre ejes y su arreglo.

Una vez analizado el pavimento y obtenidos los datos pertinentes respectivos a las diferentes pruebas realizadas para saber su capacidad estructural, se llega a la conclusión de que el pavimento rígido posee o no resistencia estructural; entonces se podrá proceder a reforzarlo o a dictaminar su buen funcionamiento en un cierto periodo.





## 5.2.2 EVALUACIÓN SUPERFICIAL

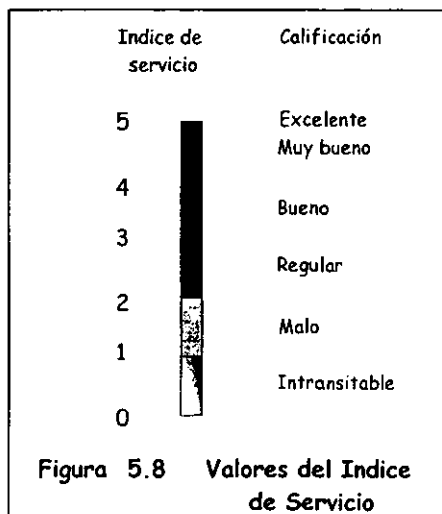
### PERFIL DEL CAMINO

Para verificar que la superficie está terminada en perfectas condiciones se utiliza el Perfilógrafo de California, que es una máquina para revisar el perfil longitudinal del camino, la cual registra todo tipo de deformaciones que se lleguen a presentar sobre la superficie del pavimento ya terminado.

El perfilógrafo es un aparato de estructura metálica acondicionado con llantas para su desplazamiento sobre el pavimento, esta integrado por un sistema de computo que registra una relación entre cadenamientos y condiciones del pavimento, posteriormente el software da una medición del perfil del pavimento.

### ÍNDICE DE SERVICIO.

De acuerdo con la AASHTO, el índice de servicio de un pavimento es "La capacidad de servicio que ofrece un Pavimento a un Tipo de tráfico que lo usa con facilidad". En las pruebas de caminos el índice de servicio tiene una escala de cero a cinco, desarrollada sobre la base de los diferentes niveles de deterioro. Los pavimentos con una clasificación 5 están en perfectas condiciones, en cambio los del tipo 0 son intransitables.



En la práctica los pavimentos con clasificaciones 0 ó 5 no existen; los valores iniciales del índice (PSI, por sus siglas en inglés) representan la condición inmediatamente después de la construcción del pavimento y generalmente son valores de 4.5 a 4.8 para diseño. La AASHTO recomienda un valor de 4.5 como índice de servicio inicial para pavimentos rígidos. Los valores terminales del PSI (ó servicialidad final) corresponden al pavimento que requiere de algún tipo de rehabilitación para darle un mejor índice de servicio. En la siguiente tabla se tienen los valores terminales empleados en diferentes clasificaciones carreteras y calles.

TIPO DE PAVIMENTO	INDICE FINAL
Autopistas	2.50
Carreteras	2.00
Zonas Industriales	1.80
Pavimentos urbanos principales	1.80
Pavimentos urbanos secundarios	1.50

Para la determinación del índice de servicio, hoy en día se emplea un equipo conocido con el nombre de Mays Ride Meter; Está máquina es utilizada mundialmente con buenos resultados, en México se ha utilizado por varios años para la evaluación de diferentes caminos.

El equipo esta compuesto por una consola y un sensibilizador, el cual va colocado dentro de un carro remolque, que es jalado por un vehículo que lleva los instrumentos de medición. El Mays Ride Meter se basa en la rugosidad o deformación de la superficie del pavimento en estudio y lo registra con los movimientos verticales entre el cuerpo del remolque y su eje a medida que recorre la superficie del pavimento. Dichos movimientos son graficados automáticamente en la consola mediante un sistema electrónico, donde se van acumulando la suma de los movimientos verticales; la distancia se mide mediante un odómetro que va conectando tanto al velocímetro del vehículo como al equipo.

Con los datos de los movimientos verticales por unidad de distancia recorrida, se determina una medida de rugosidad, la cual es directamente proporcional al movimiento total del remolque con respecto al eje, en centímetros por kilómetro.

La prueba se realiza a una velocidad de 60 Km/Hr en cada uno de los carriles del camino, y conjuntamente se realizan levantamientos de los deterioros que nos pueden dar una idea de las posibles causas de los valores a obtener de Índice de Servicio.

Los resultados deben presentarse con la colocación y cadenamamiento del tramo evaluado, anotando todos los deterioros observados durante los recorridos, tales como: agrietamiento, deformaciones leves y fuertes, baches, desprendimientos, sello, reparación y corrimientos; anotando el Índice de Rugosidad y el Índice de servicio.

Los estudios de evaluación de la condición de la superficie del pavimento sirven para, conservación de caminos, para conocer la capacidad del pavimento para continuar dando el servicio requerido por el usuario que lo transita; y de alguna manera están relacionados con la determinación de deficiencias, necesidades físicas, fallas, estrategias de conservación y programación de los trabajos de rehabilitación.

### **FRICCIÓN LATERAL EN LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.**

Este método consiste en medir la fuerza de fricción lateral de la superficie del pavimento utilizando un aparato llamado comúnmente Mu-Meter.

Este método utiliza las mediciones obtenidas de jalar el Mu-Meter, el cual tiene dos ruedas de prueba que giran libremente, anguladas a la dirección del movimiento, realizándose la prueba sobre pavimento mojado a una velocidad constante, mientras las ruedas de prueba llevan una carga estática constante. Se suministran datos continuos en una gráfica de la fuerza de fricción lateral, a través de todo lo largo del tramo a ser analizado y habilita los promedios obtenidos para cualquier especificación.

El Mu-Meter consiste en un remolque jalado por un vehículo, las llantas de la prueba se colocan en posición. El Mu-Meter se lleva a la velocidad deseada de la prueba, se arroja agua al frente de las llantas de prueba, marcando el inicio de la prueba. Los resultados de la fuerza de fricción sesgada o de esquina que actúan entre las llantas y la superficie de pavimento es registrada en una gráfica. La velocidad del vehículo es registrada con ayuda de instrumentación apropiada. La fuerza de fricción lateral se determina mediante el análisis de los datos registrados en las gráficas y reportados con un número Mu.

El conocimiento de la fuerza de fricción lateral sirve como una herramienta adicional de las características de la superficie del pavimento. Los datos de manera sola pudieran ser un valor limitado el que determine un adecuado uso de materiales de pavimentación o una buena técnica de terminado, sin embargo, usado en conjunto con otras pruebas físicas y químicas, la fuerza de fricción puede contribuir a una caracterización de la superficie de los pavimentos.

## CONCLUSIONES

Un procedimiento constructivo, independientemente del tipo de obra de que se trate, tendrá que cubrir 3 aspectos fundamentales para garantizar su eficiencia, estos son: calidad, costo y tiempo.

En cada uno de los capítulos de ésta tesis se trata de proveer de los elementos necesarios para integrar un criterio en el ingeniero encargado de los trabajos de pavimentación, y así poder valorar las distintas situaciones del proceso y tomar las acciones necesarias para que los trabajos de pavimentación se lleven a cabo económicamente, con calidad y dentro de los tiempos especificados.

Para ello es importante conocer el entorno en que se desarrollan los pavimentos de concreto hidráulico, por lo que se hace mención de sus antecedentes en México, así como las expectativas que ofrecen.

El procedimiento constructivo de una carretera con carpeta de concreto no sólo comprende las actividades propias de campo, si no que toma en cuenta una serie de factores técnicos, económicos y teóricos para la planeación y control del proceso.

En el trabajo se expusieron los elementos necesarios para comprender cada etapa en la construcción un pavimento rígido, además de sus antecedentes; construcción de terracerías; selección de los equipos y herramientas para la colocación de la carpeta, de acuerdo con los rendimientos de estos; integración de los costos de pavimentación y los principales métodos y pruebas de control de calidad para concreto.

Los equipos, rendimientos y costos presentados pueden variar con el paso del tiempo, por lo que para dar validez a este trabajo a futuro, se ha desarrollado de tal forma que su esencia se mantenga vigente y siga siendo útil simplemente con actualizar las variantes que llegasen a presentarse.

Por otra parte, la construcción de pavimentos rígidos mediante el uso de equipos de cimbra deslizante o fija es una técnica de pavimentación que se presenta

como otra opción para contribuir al fortalecimiento de la infraestructura carretera de nuestro país, que inclusive ha sido probada en lugares como Estados Unidos, Canadá, Alemania, España, Francia e Italia, entre los más importantes.

Latinoamérica no es la excepción, de acuerdo con datos proporcionados en el primer Foro Interamericano de Pavimentos de Concreto Hidráulico realizado en Brasil en 1999, Brasil cuenta con 3600 km. de carreteras de concreto hidráulico, que equivale al 2.3% del total de su red carretera; Chile tiene 3,045 Km. equivalente al 21%, Panamá gracias a la influencia que tuvo de Estados Unidos cuenta con 2468 Km. equivalentes al 23.5% de su infraestructura carretera; México 2450 Km. equivalentes al 2.4% y Argentina con 1275 Km. equivalente al 1.3%. Obteniéndose muy buenos resultados en todos ellos.

---

**BIBLIOGRAFÍA**

1. SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE PLANEACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO. México (Villahermosa Tab.), Memorias, 13 al 15 de Octubre de 1994.
2. PAVIMENTOS DE CONCRETO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS , SOBRECARPETAS Y APERTURA RÁPIDA AL TRAFICO. IMCYC. México, Imcyc, 1995.
3. MANUAL DEL CONCRETO. Concretos Apasco. México, Concretos Apasco S.A. de C.V., 1996.
4. COLOR Y TEXTURA PARA PISOS DE CONCRETO. Steven, H. Kosmatka. México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.
5. STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION MATERIALS AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING. USA, America Association of State Highway and Transportation Officials, 1996.
6. LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. Rico y del Castillo. México, Edit. Limusa, 1995. Volumen I y II.
7. NORMAS DE CONSTRUCCIÓN, MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, SCT, 1981. Parte primera.
8. GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS. Salazar, Aurelio. México, IMCYC, 1998.
9. MECÁNICA DE SUELOS. Juárez Badillo y Rico Rodríguez. México, LIMUSA, 1998. Tomo 2.
10. PAVIMENTOS RÍGIDOS, SU APLICACIÓN EN MÉXICO. Quintana, Bernardo K. México, Tesis Universidad Anahuac, 1994.
11. TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACIÓN. Ponce Serrano, Alejandro. México, Tesis UNAM, 1981.

12. NORMAS MEXICANAS PARA CONCRETO. SECOFI-DGN. México, Dirección General de Normas a través de Diario Oficial de la federación, 1997 a 2000.
13. PRIMER FORO INTERAMERICANO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO. IMCYC-FICEM. México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto-Federación Interamericana del Cemento, 1998. Memorias.
14. MANUAL DE CAMINOS VECINALES. Etcharren Gutiérrez, René. México, Alfaomega, 1993.
15. DESIGN AND CONSTRUCTION OF JOINTS FOR CONCRETE STREETS. USA, American Concrete Pavement Association, 1994.
16. APUNTES DE LA MATERIA DE PAVIMENTOS. Universidad Nacional Autónoma de México Campus Acatlán.
17. COSTO Y TIEMPO EN EDIFICACIÓN. Suárez Salazar, Carlos. México, Limusa, 1995.

### HEMEROGRAFÍA:

1. CONCRETE CONSTRUCTION. USA, ABERDEEN'S GROUP. Volumen 39, número 10, Octubre de 1994. "Curing concrete", P.P. 765.
2. CONCRETE CONSTRUCTION. USA, ABERDEEN'S GROUP. Volumen 41, número 2, Febrero de 1996. Bob Risser and Mark Johnston, "Tips for reconstructing concrete intersections", P.P. 160 a 164.
3. CONCRETE CONSTRUCTION. USA, ABERDEEN'S GROUP. Volumen 41, número 7, Julio de 1996. Ward R. Malisch, "Fast field tests for concrete", P.P. 552 a 554.
4. THE CONCRETE PRODUCER. USA, ABERDEEN'S GROUP. Volumen 17, número 3, Marzo de 1999. Yelton Rick, "Mixers plants", P.P. 42 a 50.