



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

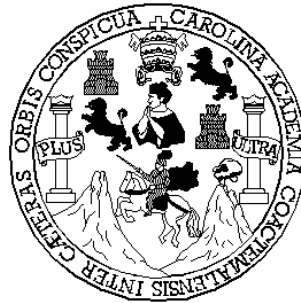
## **REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CON FALLAS A TEMPRANA EDAD**

**Víctor Santino Bal Aragón**

Asesorado por el Ing. Hugo Rolando Bosque Morales

Guatemala, abril de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO  
CON FALLAS A TEMPRANA EDAD

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

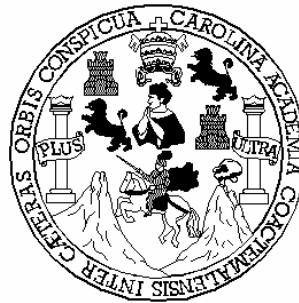
**VÍCTOR SANTINO BAL ARAGÓN**

**ASESORADO POR ING. HUGO ROLANDO BOSQUE MORALES**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Raul Alberto Marroquín y Marroquín
EXAMINADOR	Ing. Rowland German Lang González
EXAMINADOR	Ing. Julio Antonio Arreaga Solares
SECRETARIO	Ing. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO  
CON FALLAS A TEMPRANA EDAD**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 22 de febrero de 2002.

Víctor Santino Bal Aragón

## **AGRADECIMIENTOS**

A: Dios

A: mi esposa, Gabriela Liseth Mendoza de Bal

A: mi hijo, Víctor Sebastián Bal Mendoza

A: mis padres, Víctor Trinidad Bal Cáceres y  
Aura Elena Aragón de Bal

A: mi familia

A: mis amigos

A: Universidad de San Carlos de Guatemala

## **DEDICATORIA**

A mi esposa e hijo

A mis padres



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. SUB-RASANTES Y SUB-BASES PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	3
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO	
3.1 Desarrollo natural de grietas.....	7
3.2 Eficiencia de las juntas.....	8
3.3 Tipos de juntas.....	8
3.4 Diseño y construcción.....	9
3.5 Selladores.....	10
3.6 Consideraciones acerca del sistema constructivo de apertura rápida al tráfico.....	11

4. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLA	
4.1 Grietas activas.....	13
4.2 Grietas pasivas.....	14
4.3 Micro grietas.....	14
4.4 Agrietamiento plástico.....	14
4.5 Fragmentación superficial.....	14
4.6 Superficie polvorienta.....	15
4.7 Mal acabado o protuberancias.....	15
5. REPARACIÓN DE FALLAS EN LOS PAVIMENTO	
5.1 Secretos de una reparación durable.....	17
5.2 Preparación para las reparaciones.....	19
5.3 Antes de la colocación.....	20
5.4 Consideraciones de materiales.....	20
5.5 Colocación.....	22
5.6 Curado.....	23



## 6. TÉCNICAS Y MATERIALES DE REPARACIÓN

6.1	Técnicas de reparación.....	25
6.1.1	Tratamiento con ácido.....	25
6.1.2	Rellenado de grietas.....	26
6.1.3	Recubrimientos.....	26
6.1.4	Reemplazo convencional plástico.....	26
6.1.5	Esmerilado o ranurado.....	27
6.1.6	Inyección.....	27
6.1.7	Colocación de otra capa de superficie: delgada o regular.....	27
6.1.8	Colocación de otra capa de superficie: ligada o desligada.....	28
6.1.9	Colocación de otra capa de superficie: asfalto.....	36
6.1.10	Encamisado.....	46
6.2	Materiales de reparación.....	46
6.2.1	Ácidos.....	46
6.2.2	Bentonita.....	46
6.2.3	Recubrimiento bituminoso.....	47
6.2.4	Concreto, mortero y lechada.....	47
6.2.5	Selladores elastoméricos.....	48
6.2.6	Epóxicos.....	48

6.2.7	Morteros expansivos, lechadas y concretos.....	49
6.2.8	Concreto con fibras.....	49
6.2.9	Materiales de fraguado rápido.....	50
6.2.10	Materiales para encamisar.....	50
6.2.11	Látex.....	50
6.2.12	Aceite de linaza.....	51
6.2.13	Polímeros.....	52
6.2.14	Endurecedores de piso.....	52
6.2.15	Cementos especiales.....	52
7.	EPÓXICOS PARA LA REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE CONCRETO	
7.1	Desarrollo.....	55
7.2	Epóxicos para adherencia.....	56
7.3	Epóxicos para reparaciones extensas.....	57
7.4	Parcheo.....	58
7.5	Reparación de grietas.....	58
7.6	Selladores de epóxico.....	59
7.7	Recubrimiento con epóxico.....	59

8. REPARACIÓN CON MATERIALES DE FRAGUADO RÁPIDO	
8.1 Reparación del parche.....	61
8.2 Permeabilidad del parche, básicamente cemento Portland.....	62
8.3 Resinas de fraguado térmico.....	63
8.4 Termoplásticos.....	64
8.5 Sulfato de calcio.....	64
8.6 Materiales bituminosos.....	64
8.7 Otros materiales.....	65
8.8 Curado de parches.....	66
9. ENSAYOS DE LABORATORIO	
9.1 Prueba de impacto.....	67
10. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	69
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	77
ANEXO.....	79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Curva de diseño para ejes con rueda sencilla.....	32
2. Curva de diseño para ejes con doble rueda.....	34
3. Factores de diseño para sobrecarpetas.....	37
4. Curva de diseño para espesores de pavimentos de asfalto.....	40
5. Sobrecarpeta de asfalto sobre pavimento de concreto con fallas a temprana edad....	44
6. Vista de tramo de sobrecarpeta de asfalto sobre pavimento de concreto.....	45
7. Curva de correlación del martillo de impacto.....	68
8. Martillo de resortes Schmidt.....	68
9. California Bearing Ratio-CBR.....	81
10. Pavimento con grietas.....	82
11. Pavimento con grietas 2.....	83



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Efecto de desgastar por fricción.
<b>Acabado</b>	Perfeccionamiento de la superficie de la losa del pavimento.
<b>CBR</b>	California Bearing Ratio por sus siglas en inglés, es un indicador de la capacidad de soporte del suelo.
<b>Concreto</b>	Mezcla uniforme de cemento, agua, agregado grueso (piedrín) y agregado fino (arena).
<b>Corte</b>	Es inducir una grieta en la superficie del pavimento de una forma programada y con estética.
<b>Curado</b>	Período en el cual las condiciones de humedad y temperatura, son favorables al concreto fresco para la debida hidratación del cemento durante el fraguado.
<b>Despotillamiento</b>	Fragmentación de los bordes del pavimento.
<b>DTN</b>	Design Traffic Number por sus siglas en inglés, cantidad de vehículos que circulan en un pavimento diariamente.
<b>Durabilidad</b>	Tiempo de vida que se estima de un pavimento.
<b>Eje de carga</b>	Barra horizontal de unión entre dos ruedas de un vehículo.
<b>Elastométrico</b>	Material que puede regresar a su figura o tamaño luego de que cesa la causa que lo haya modificado.

<b>Ensayo</b>	Prueba que se utiliza para conocer el comportamiento del concreto frente a un caso determinado.
<b>Exudación</b>	Salida del exceso de agua a la superficie del pavimento en el proceso de fraguado.
<b>Formaleta</b>	Estructura que sirve de molde para dar la forma deseada al concreto.
<b>Fragmentación</b>	Partes o algunas piezas quebradas o partidas.
<b>Fraguado</b>	Proceso en el cual el concreto se hidrata.
<b>Geotextil</b>	Material que sirve para desligar la sobrecarpeta de asfalto del pavimento de concreto existente.
<b>Hidratación</b>	Reacción química del cemento con el agua.
<b>Imprimación</b>	Protección de la base con material bituminoso que la protege de los agentes externos.
<b>Lechada</b>	Mezcla de cemento, arena y agua.
<b>Módulo de reacción de la subrasante</b>	Valor soporte que se le asigna a la subrasante de acuerdo a las propiedades que posee.
<b>Mortero</b>	Mezcla de agua con un aglomerante.
<b>Pavimento desligado</b>	Aquel que no transmite las fallas o defectos a la sobrecarpeta.
<b>Pavimento ligado</b>	Aquel que transmite sus fallas o defectos a la sobrecarpeta.
<b>Permeabilidad</b>	Cantidad de agua que puede atravesar un pavimento.
<b>Resina</b>	Sustancia plástica que puede ser usada en las reparaciones.



<b>Resistencia</b>	Capacidad de un material de oponerse a cargas.
<b>Ripio</b>	Residuos que quedan de la fragmentación de un pavimento.
<b>Rodada doble</b>	Cuando un vehículo tiene tres ejes.
<b>Rodada sencilla</b>	Cuando un vehículo tiene dos ejes.
<b>Sobrecarpeta</b>	Capa de pavimento de concreto o asfalto que se coloca sobre un pavimento que ya existe.



## **RESUMEN**

Las reparaciones a los pavimentos que fallan a temprana edad, son necesarias en muchos de los casos en que a éstos se les detecta el deterioro, para lo cual se da a conocer cuáles son los tipos de fallas más comunes en éstos.

La preparación de la subrasante y la base del pavimento, así como las juntas en éste, son de suma importancia realizarlas de manera correcta, ya que éstas pueden ser las causantes de una falla a temprana edad. Además, el curado adecuado y en tiempo es indispensable para evitar grietas, que aparecen en las primeras horas del pavimento.

Se dan a conocer cuáles son los diferentes tipos de técnicas y materiales de reparación, para tener una guía de cuál o cuáles de ellos podemos hacer uso en un momento determinado, dependiendo de las condiciones que se tengan.

Como caso concreto se menciona una reparación de un pavimento de concreto realizado con una sobrecarpeta de asfalto, en el cual se produjeron gran cantidad de grietas al azar, debido posiblemente a una mala selección de materiales usados para la elaboración del concreto.

En este caso en particular se optó por la sobrecarpeta de asfalto por considerar que era la alternativa más rápida y económica. Como resultado de esta reparación el pavimento cuenta actualmente con seis años de servicio y se puede considerar que el resultado de la sobrecarpeta ha sido positivo.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Se pretende facilitar una guía al constructor de pavimentos en los cuales se producen fallas a temprana edad, para realizar una reparación en éstos de una forma correcta, en un tiempo adecuado, cuidando el costo, y que sirva para el resto de la vida útil del pavimento.

### **Específicos**

1. Identificar los tipos de fallas a temprana edad que se pueden producir en un pavimento.
2. Conocer los materiales que pueden ser utilizados en la reparación de un pavimento.
3. Conocer las principales técnicas y la preparación adecuada para una reparación de un pavimento.
4. Analizar los gastos adicionales que nos representa realizar una reparación de un pavimento.



## INTRODUCCIÓN

Para la elaboración de un buen pavimento es necesario contar con una correcta planificación, la cual se debe realizar desde la subrasante y la base, así como un correcto cálculo del pavimento y una ejecución adecuada, incluyendo el diseño del corte y su realización a tiempo.

En el momento que se detecta alguna falla en el pavimento a una temprana edad se debe empezar por determinar el tipo de falla que ha originado el problema, ya que de esta forma se debe buscar la mejor alternativa para la reparación de acuerdo a las condiciones que se tengan.

Es necesario conocer qué tipo de técnicas se conocen y cuáles son las más prácticas para utilizar al momento de decidirse a realizar una reparación, además de conocer cuáles son los materiales que se han usado para realizar dichas reparaciones y poder determinar de esta forma cuál de estos materiales es más conveniente usar.

Entre los materiales para reparación se encuentran los epóxicos que son materiales que poseen características similares con el concreto y que en muchas ocasiones superan las propiedades del concreto, también debemos tomar en cuenta los concretos de fraguado rápido, los cuales fueron diseñados con fórmulas especiales, que nos permiten colocarlo de una forma adecuada y rápida, pero lo más importante de este concreto es que reduce al mínimo el tiempo de apertura al tráfico de los pavimentos que se tratan con éste.

Conociendo todas estas condiciones y materiales, es más fácil determinar una vez elegidas las mejores opciones, técnicas para la reparación, cuál de estas técnicas es la más económica, siempre que cumpla con los requerimientos para que la reparación sea duradera.

En este trabajo se muestra el cálculo de una sobrecarpeta de concreto sobre un pavimento de concreto con fallas a temprana edad, así como el cálculo de una sobrecarpeta de asfalto sobre un pavimento de concreto, siempre con fallas a temprana edad, a los cuales se les compara el resultado, los cálculos se hicieron de las fórmulas mostradas.

Con los resultados de éstos se realiza una evaluación económica de los gastos de cada uno de ellos, lo cual sirve como referencia del costo que se debe agregar al pavimento cuando falla a temprana edad, para lo cual se muestra el resultado en quetzales por metro cuadrado de reparación del pavimento.

El caso de una sobrecarpeta debe emplearse si el área con fallas es de un tamaño grande, si son grietas aisladas puede ser más conveniente realizar un rellenado de grietas.

Si el problema es más de estética, un escarificado puede ser la solución.



## **1. ANTECEDENTES**

A través de los años se ha observado que en gran cantidad de los pavimentos de concreto que se han construido y que se siguen construyendo, se ha tenido una gran cantidad de problemas antes, durante y después de ejecutar la obra. En algunos casos estos problemas se deben a las condiciones del lugar, en otros debido a un diseño inadecuado, o bien la ejecución es deficiente, o simplemente por problemas de último momento que dificultan el proceso correcto de construcción de un pavimento de concreto, lo cual puede producirle fallas al pavimento en algún momento de su vida.

Debido a estos problemas, hay una cantidad considerable de pavimentos de concreto que tienen distintos tipos de fallas. Existen documentos que enseñan a reparar o rehabilitar los pavimentos de concreto cuando éstos ya han cumplido con el tiempo de vida para el cual fueron diseñados. Éste no es el caso para poder reparar o rehabilitar los pavimentos de concreto cuando la falla en éstos se produce a las pocas horas o en los primeros días de su vida, es decir que se produce una falla a temprana edad.

Este tipo de fallas, debido a que se producen a una temprana edad, van a influir en una forma considerable en toda la vida del pavimento, lo que puede producir que el pavimento no llegue a completar el tiempo de vida útil para el cual fue diseñado. Es más, las fallas pueden agravarse o incluso producir fallas extras cuando el pavimento sea habilitado y se someta a las condiciones de carga o tráfico para las cuales fue diseñado, lo que hace indispensable que cualquier tipo de falla a temprana edad sea tratada correctamente para que el pavimento de concreto cumpla con las expectativas.

En algunos casos se presenta el problema en los pavimentos cuando éstos no llenan los requisitos estéticos que el cliente o contratista quieren, los cuales en su mayoría se presentan por una mala programación o descuido al momento de ejecutar el pavimento, lo que hace necesario mejorar estas condiciones con algunas técnicas, ya que si bien no representan ningún problema de funcionamiento, la apariencia final de cualquier pavimento es muy importante, más aún si se trata de estacionamientos o sectores residenciales que venden mucho su imagen.

## **2. SUB-RASANTES Y SUB-BASES PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO**

Al momento de la construcción de un pavimento, es de suma importancia prestar mucha atención en la preparación del suelo natural, por donde se va a ejecutar el pavimento, ya que de ello depende la capacidad estructural y la comodidad que recibirán los vehículos que sobre éste circulen durante su vida.

En el caso de los pavimentos de concreto, el diseño y preparación del terreno dependen de muchos factores, como el tráfico pesado, el tipo de suelo, etc. Para cualquiera de los casos el objetivo es el mismo.

La sub-rasante no es más que la capa que va a recibir el pavimento de concreto, la cual debe estar debidamente nivelada y compactada. Para su preparación intervienen diferentes aspectos:

- 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.
- Siempre que sea posible, fijar la rasante lo más alto posible y excavar zanjas laterales lo suficientemente profundas como para aumentar la distancia vertical entre el nivel freático y el pavimento.
- 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.
- 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 sub-rasante.

- Mejorar los suelos de muy baja calidad por medio de tratamiento a base de cemento o cal, o en su defecto importar mejores suelos, de acuerdo a lo que resulte más económico.

La sub-base se define como una capa colocada inmediatamente por debajo del pavimento de concreto, por lo general es común que se le llame base, ya que así se le llama a la capa que está inmediatamente por debajo del pavimento de asfalto; sin embargo, la sub-base no lleva todos los requerimientos estrictos y de calidad que la base para un pavimento de asfalto, ya que con el concreto las presiones que recibe esta capa son más bajas.

Los materiales que se utilicen para sub-base deberán estar libres de materias vegetales y extrañas, tierra vegetal, terrones de arcilla, etc. y deberán llenar ciertos requisitos.

La máxima dimensión de cualquier partícula contenida en el material y que no sea posible desintegrar con el equipo de compactación, no deberá ser mayor de 2/3 del espesor especificado para la sub-base.

El agregado grueso (retenido tamiz No. 10) deberá tener un porcentaje de desgaste no mayor de 50 a 500 revoluciones, determinado por el método AASHTO T-96.

El agregado fino (pasa Tamiz No. 10) cumplirá con los siguientes requisitos:

La fracción que pasa el tamiz No. 200 no debe exceder de 2-3 de la fracción que pasa el tamiz No. 40.

La fracción que pasa por el tamiz No. 40 tendrá un límite líquido no mayor de 25 (AASHTO T-89) y un índice de plasticidad no mayor de 6 (AASHTO T-90).

El material deberá tener una relación de valor soporte de California (CBR) no menor de 40, a 95% de compactación, según el método todo AASHTO T-180-86, como parte del relleno. El material no deberá tener un hinchamiento mayor del 1.0% (AASHTO T-193).

El material de la sub-base inmediatamente después de humedecido y conformado, deberá ser compactado con el equipo adecuado para el tipo de material de la misma, o con la aprobación previa del supervisor, hasta alcanzar una densidad seca no menor del 95% o del porcentaje que se indique en las Especificaciones Técnicas Especiales, de la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio con el método AASHTO T-180. La compactación se hará gradualmente de las orillas hacia el centro, paralelamente a un eje longitudinal de modo que se traslape uniformemente cada pasada anterior de la máquina por la mitad del ancho de la misma y deberá continuarse en esa forma hasta obtener la compactación satisfactoria. Cuando el espesor total compactado de la sub-base sea mayor de 15 centímetros, ésta se compactará en dos capas de igual espesor. Cuando se utilice equipo vibratorio u otro tipo aprobado de compactación, el espesor compactado de cada capa de sub-base podrá incrementarse a 20 centímetros, previa aprobación del supervisor. El afinamiento y aplanado deberá ejecutarse alternativamente, a fin de obtener una superficie lisa y uniformemente compactada. Si la superficie de la sub-base se seca durante la compactación, deberá agregarse a la misma la cantidad necesaria de agua para mantener en lo posible el contenido de humedad de compactación especificado.

La compactación de los materiales de la sub-base cercanos a los pozos de visita, cajas de registro, bordillos o lugares no accesibles por el equipo de compactación utilizado, deberá efectuarse con compactadoras neumáticas de impacto (sapos), platos vibratorios o como alternativa de manera manual con mazos, en forma tal de asegurar la compactación especificada.



### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO**

#### **3.1 Desarrollo natural de grietas**

Un sistema de construcción de juntas en los pavimentos de concreto, se realiza para controlar y programar el lugar donde aparecerán las grietas en el pavimento, colocándolas a una distancia uniforme y con una apariencia estética, es decir que las juntas en los pavimentos son grietas programadas.

La mayoría de agrietamientos que ocurren de forma anticipada, tienen lugar a edades muy tempranas del pavimento de concreto. Los cambios de temperatura debido al calor de hidratación son una causa de estos agrietamientos, ello debido a que este calor de hidratación y el pavimento alcanzan su mayor temperatura poco tiempo después del fraguado del concreto, después el concreto disminuye su temperatura por la baja en la actividad de hidratación y la menor temperatura del ambiente en la primer noche del pavimento, produciendo una contracción en el pavimento.

También la pérdida de volumen en el concreto debido a que la mezcla de concreto inicial utiliza más agua de la necesaria para hidratar el cemento, esto para alcanzar la trabajabilidad que el concreto necesita para ser colocado; sin embargo, durante la consolidación y el endurecimiento del concreto, este exceso de agua asciende a la superficie y se evapora, lo que lleva al concreto a ocupar menor volumen, por ello es indispensable utilizar concreto con un asentamiento menor a las 3 pulgadas cuando se trate de pavimentos, para minimizar esta variación de volumen.

Los esfuerzos que se producen por los gradientes de temperatura y humedad dentro del concreto, también pueden producir grietas, éstos ocurren después del endurecimiento del concreto y depende de las condiciones climáticas durante el día y durante la noche.

El espaciamiento entre las grietas varía dependiendo de las propiedades del concreto, de su espesor, de la fricción con la sub-base y de las condiciones del clima durante y después de la colocación.

### **3.2 Eficiencia de las juntas**

La transferencia de cargas 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 con el nombre de eficiencia de la junta. Si una junta tiene una eficiencia de 100%, transferirá la mitad de la carga aplicada. Una eficiencia de cero, significa que ninguna carga se transmite a traves de la junta. La evaluación de campo de la transferencia de carga, se realiza midiendo a cada lado de una junta las deflexiones inducidas por una carga aplicada.

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, y reduce la falla, el despostillamiento y la rotura de las esquinas. Se considera adecuada una eficiencia de la junta de 75% o mayor, para el caso de cargas de camiones medianos y pesados.

### **3.3 Tipos de juntas**

Las juntas transversales de contracción se colocan perpendicularmente al eje de trazo del pavimento, sirven básicamente para controlar el agrietamiento producido por esfuerzos debidos a contracción y a cambios de temperatura y humedad.



Las juntas transversales de construcción son juntas programadas, que se instalan debido a que se debe interrumpir la operación diaria de la pavimentación o en lugares donde se debe colocar una junta definitiva.

Las juntas transversales de dilatación o juntas de aislamiento son aquellas que se colocan en lugares que permitan el movimiento del pavimento, sin dañar las estructuras adyacentes o el propio pavimento.

Las juntas longitudinales de contracción son juntas que dividen los carriles de un pavimento a lo largo de éste y controlan el agrietamiento, en lugares donde se colocan dos o más secciones de un mismo carril simultáneamente.

Las juntas longitudinales de construcción dividen carriles adyacentes de pavimento, que se colocan en distintas épocas.

### **3.4 Diseño y construcción**

El diseño de las juntas en un pavimento juega un papel principal en la construcción del mismo, ya que de éste depende que no se presenten fallas tanto a temprana edad, como a largo plazo en un pavimento; la separación entre juntas, cambia según el espesor de la losa y las condiciones de apoyo, además, la capacidad de transferencia de carga va unida a un buen diseño, donde se tiene que considerar si se usan o no pasajuntas, y si se usan se debe tener cuidado en su colocación y después en su localización, para que el corte se haga en el lugar correcto, todo esto según las normas. La separación entre juntas nos va a indicar el tipo de sellador a utilizar, es muy importante también la profundidad del corte.

Todos estos cuidados se deben tener dependiendo de las características del pavimento y del tipo de junta que se va a construir, ya que cada una de éstas tiene diferentes condiciones de trabajo y distinta función. Además, se debe elegir cuidadosamente el tipo de disco para elaborar la junta, tomando en cuenta el tiempo que se debe esperar para poder realizar el corte, que debe ser entre 4 y 12 horas, ya que muy temprano puede producir desportillamiento y muy tarde el concreto ha adquirido más resistencia que hace muy difícil el trabajo de corte.

Las operaciones de limpieza antes de colocar el sello, son de mucha importancia para la durabilidad de éste, se recomienda, primero, lavar con agua a presión para eliminar el lodo que se forma durante el corte, inmediatamente después de cortar; como segunda recomendación, cuando la junta esté seca lavar con un chorro de arena para eliminar cualquier residuo y por último sopletear con aire, para extraer arena, basura o cualquier polvo que aún se encuentre en la junta.

Una vez concluidas estas etapas, se debe colocar el sello, se debe tener cuidado de colocarlo de la parte inferior hacia la superior, para evitar que queden burbujas de aire atrapadas en éste, y una buena costumbre es no llenar completamente la junta, dejando de 3 a 6 mm. por debajo, ya que en verano el sello se expande y puede salir hacia la superficie de pavimento y el tráfico lo puede dañar y desplazar de su lugar.

### **3.5 Selladores**

La función del sellador de juntas es la de minimizar la infiltración superficial del agua hacia la estructura del pavimento, así como evitar que partículas penetren en la junta, ya que estas partículas pueden producir presiones que pueden dañar el pavimento.

Para ello se debe elegir el material de sellado adecuado, según el comportamiento deseado de la junta y el costo del material, para luego diseñar la profundidad de corte necesaria para cada caso.

### **3.6 Consideraciones acerca del sistema constructivo de apertura rápida al tráfico**

No existe ninguna limitación para el equipo de aserrado de juntas, usado en la construcción de pavimentos de concreto con el sistema de apertura rápida al tráfico.

En lo que se refiere al corte, tanto el sistema en húmedo, como el sistema en seco, se han utilizado sin inconvenientes.

El acelerado de la resistencia en este tipo de pavimento y la baja relación agua-cemento, reducen la humedad en las paredes del corte, lo que permite colocar el sello más rápido, para cumplir con la función de apertura rápida. La mayoría de selladores conocidos se han utilizado y todos han demostrado un buen comportamiento.



## **4. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLA**

**Algunos síntomas que hacen posible el diagnóstico, si las causas no son complejas.**

Una grieta en el concreto puede originarse por una sub-rasante defectuosa, un refuerzo incorrectamente colocado, una reacción álcali-agregado, un mal diseño de juntas, mal diseño de mezcla, un curado inadecuado, una sobrecarga u otras razones. El conocer la causa es importante porque la preparación para la reparación puede ser muy diferente para los distintos tipos de grietas, al seleccionar los materiales y los procedimientos para hacer el parche.

Lo fundamental es determinar el tipo de deterioro antes de decidir cómo debe ser reparado correctamente. A veces es necesario un químico o un petógrafo, con gran cantidad de equipo de laboratorio, para identificar exactamente el tipo de deterioro del concreto y, frecuentemente, el deterioro se origina en dos o más causas. Por ejemplo, la fragmentación o descascaramiento ocurre por falta de aire incluido en la superficie del concreto, pero también por el uso de un concreto de baja resistencia.

Primero, haremos un breve comentario. Considere si el trabajo de reparación se justifica. Si el deterioro es ligero y no extendido, o si no interfiere con el uso del concreto, la mejor opción puede ser dejarlo como está.

### **4.1 Grietas activas**

Son aquellas que trabajan junto con la estructura de la losa o pavimento, tienden a agravarse conforme el funcionamiento de la estructura, es decir que experimentan un movimiento apreciable.

## **4.2 Grietas pasivas**

Éstas son aquellas que por lo general se hacen por contracción del concreto, aparecen en las primeras horas o días del pavimento, al llegar a su punto más crítico se detienen.

## **4.3 Micro grietas**

Este tipo de grietas superficiales e interconectadas (similares a ríos y calles en un mapa) pueden ocurrir en toda la superficie de la losa. Este problema se puede ver agravado por varios factores: excesiva exudación del concreto, el uso de cemento en polvo en la superficie para secar el agua de exudación, excesivo acabado, alisado cuando el agua de exudación todavía está en la superficie, el uso incorrecto del compactador portátil o la falta de curado apropiado.

## **4.4 Agrietamiento plástico**

Las grietas que aparecen al azar relativamente rectas (a veces superficiales y a veces de 10 cms. de profundidad o más) a menudo se concentran en el centro de las losas o pisos. Éstas se forman rápidamente después de que la capa de agua desaparece de una losa en construcción. Estas grietas ocurren cuando la tasa de evaporación es rápida, como en días cálidos y secos y con fuerte viento, a menos que se tomen medidas de precaución.

## **4.5 Fragmentación superficial**

Ocurre cuando el concreto se adhiere a la formaleta y éstas son removidas, o cuando el tráfico muy pesado e intenso produce el desprendimiento de fragmentos de losa generalmente en juntas o grietas. Cuando las juntas son anchas, es más probable tener un problema de fragmentación de los bordes por el impacto de las ruedas de los equipos.

#### **4.6 Superficie polvorienta**

Éste es aquel que causa desprendimiento de polvo en la superficie del pavimento, y puede llegarse a observar con sólo pasar la mano o una escoba, por lo general el material que se llega a desprender es pasta de cemento o agregado fino, algunas causas que lo producen es el exceso en el alisado o bien cuando a la hora de realizar el alisado o acabado del pavimento, se le riega agua a la superficie para facilitar el trabajo.

#### **4.7 Mal acabado o protuberancias**

Cuando por alguna razón no se realiza el acabado final deseado, puede ser necesario modificarlo, esto sucede cuando el acabado se realiza mientras el concreto aún se encuentra en estado plástico, o bien si no se cuenta con el equipo necesario para realizarlo o simplemente éste queda defectuoso, cualquiera que sea el caso no representa un problema de funcionamiento del pavimento, sino es un problema de estética únicamente.





## **5. REPARACIÓN DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS**

Cuando se enfrenta un problema especial, como la colocación de una sobrecarpeta delgada y ligada sobre una losa, el uso de uno de estos materiales puede ser la respuesta para hacer que una reparación sea durable. Las instrucciones deben cumplirse cuidadosamente.

La reparación en pisos y pavimentos es una tarea más difícil porque los parches son expuestos frecuentemente a impactos, abrasión, derrames y otros factores adversos. Esto no ocurre con los parches en columnas y paredes.

Una gran cantidad de reparaciones son efectuadas por contratistas comunes y corrientes, usando técnicas convencionales de colocación y morteros ordinarios, sea con consistencia plástica o como material de paquete seco, que es un mortero de cemento con muy poco agua que puede amasarse a mano. Los procedimientos son buenos y bien instituidos, por lo que mencionaremos los más comúnmente recomendados.

### **5.1 Secretos de una reparación durable**

Como la mayoría de los secretos, el truco para hacer reparaciones duraderas consiste en comprender la siguiente regla: usar los materiales apropiados en la forma correcta para obtener resultados satisfactorios. Abajo se detallan los requisitos básicos para hacer una reparación durable. Casi todos son aplicables a cualquier clase de reparación y aseguran su durabilidad:

El material de reparación debe quedar completamente ligado al concreto sano de la cavidad.

La contracción del parche debe ser pequeña para no perjudicar la adherencia del mismo.

El parche y su apoyo deben estar libres de grietas.

El parche y el concreto viejo deben responder a los cambios de temperatura, humedad y carga en forma similar (para evitar grandes diferencias de movimiento).

El parche debe ser de baja permeabilidad para que la humedad no migre a través de él hasta el concreto viejo que está abajo.

El parche debe ser resistente a la intemperie o al tránsito cuando éstos sean factores predominantes.

Además de los requisitos anotados, es necesario ajustarse al color y textura del concreto original. Si el concreto tiene requisitos especiales por su exposición, tal como la capacidad de resistir ataque químico, el material de parche debe tener esas mismas cualidades.

El material de reparación debe ser cuidadosamente seleccionado. Los morteros de cemento hidráulico tienen la ventaja que su coeficiente de expansión es similar al del concreto existente, su apariencia es semejante y son de bajo costo. Por otra parte, esos morteros tienen más alta necesidad de agua, mayor contenido de cemento y por consiguiente, una mayor contracción al secarse.

También debe tomarse en cuenta el costo de la mano de obra, que puede ser relativamente bajo.

## **5.2 Preparación para las reparaciones**

Para la reparación del concreto, todos los materiales no sanos deben quitarse y la grieta debe moldearse y rellenarse completamente con el material apropiado. Si cualquier aspecto del procedimiento es obviado, el resultado será una reparación de corta vida y no satisfactoria.

Naturalmente, la causa del deterioro debe ser determinada y corregida antes de hacer la reparación. Si no es así, probablemente se tendrá que hacer una nueva reparación pronto. Cuando los factores causantes han sido eliminados, usted puede iniciar la restauración.

Primero, remueva todo el concreto que no esté sano. Si no hace esto, significa que usted pegará su parche a una superficie que no está adherida a la masa de concreto. Usted encontrará el parche caído, con una capa del concreto de la parte adherida, abajo del sitio de la reparación.

La forma y tamaño de la cavidad deseada dependerá del tipo de problema que usted confronte. Una superficie algo áspera es deseable para una mejor adherencia, los bordes de las grietas deben definirse claramente y ser agudos y sanos. Además, es mejor si se recortan con una inclinación de 1:3.

El concreto debe removerse con herramientas manuales, o, cuando la reparación es muy grande, debe hacerse con un martillo neumático mediano o pequeño usando una punta de espada y no de cincel. Lo más aconsejable para grietas y todo tipo de fallas angostas, es usar una broca con diente de sierra que conseguirá hacer unos bordes agudos y con la inclinación deseada.

Se debe tomar el tiempo suficiente para preparar y revisar la grieta porque este aspecto es fundamental para que la reparación sea durable.

### **5.3 Antes de la colocación**

Antes de colocar el material de parcheo, revise bien si la preparación ha sido correcta. Es importante prestar atención especial a los siguientes aspectos:

- Remoción completa del material no sano.
- Cortes inclinados para producir bordes suaves.
- Buena geometría de la cavidad.
- Esquinas internas redondeadas.
- Superficies ásperas pero uniformes.

Poco antes de colocar el material de parcheo, remueva todas las partículas sueltas, aceite y suciedad de la grieta. Esto puede hacerse utilizando aire a presión, chorros de agua, una solución de ácido, cepillo de acero, escarificador o una combinación de éstos. Los cepillos o escobas ayudan a quitar el material suelto.

Existen diferentes opiniones sobre la utilidad de mojar la cavidad antes de colocar el material. La mayoría considera importante mojar la cavidad durante varias horas antes de hacer la reparación. Sin embargo, en el momento de colocar el material, no debe existir agua superficial.

### **5.4 Consideraciones de materiales**

Esta discusión se limita a los materiales cementantes ordinarios, sean el mortero plástico y el paquete seco, pero a su vez toca temas como las propiedades de comportamiento más importantes y los métodos apropiados para la aplicación de estos materiales.

El paquete seco que se llama así ya que es una técnica de reparación que usa un mortero de cemento con muy poca agua, y su consistencia permite que se pueda amasar con la mano formando una esfera, es usado en cavidades profundas y angostas, donde la profundidad es mayor o igual que el ancho. No es apropiado para cavidades anchas o superficiales o en aplicaciones en que el material de parcheo debe consolidarse detrás de obstrucciones como las barras de refuerzo. Puede empezar a experimentar cuáles son las proporciones correctas de mezcla para la obra con una parte de cemento Portland y tres partes de arena de yeso lavada y justamente la cantidad de agua para conseguir un material cohesivo sin valor de revenimiento. Un ensayo para determinar la consistencia correcta del paquete seco es moldear un poco de material en la mano, éste debería formar fácilmente una bola y dejar muy poca agua en la mano.

Una mezcla de mortero plástico debe tener un contenido de agua y cemento tan bajo como sea adecuado para las condiciones de colocación y resistencia. Esto es necesario porque tanto el agua como el cemento, contribuyen con la contracción, que es enemiga de las reparaciones duraderas. El contenido de agua puede ser reducido al mínimo mediante el uso de buenos agregados, un aditivo efectivo para reducir el agua, y procedimientos de colocación que permitan el uso de un menor valor de revenimiento. Otra ayuda puede ser la disminución del volumen de pasta de cemento. Esto es difícil de alcanzar en un mortero porque cuanto más pequeño es el agregado de tamaño máximo, mayor es la proporción de pasta de cemento para un volumen dado.

Los parches a menudo se vuelven más oscuros que el concreto que los rodea. Un poco de cemento blanco, que permite identificar fácilmente donde se hicieron reparaciones, agregado en la mezcla, puede aliviar un poco este problema de contraste. La técnica usada, el método de curado y las herramientas usadas para el acabado pueden afectar el color aparente. Si la apariencia es importante, es definitivamente más aconsejable que una batida de la mezcla preparada para el parche sea hecha usando los mismos materiales utilizados para la obra original y que se coloque, acabe y cure del mismo modo propuesto para el trabajo. Esto debería hacerse con suficiente anticipación para observar el color definitivo del parche y definir su aceptación o rechazo.

### **5.5 Colocación**

Cuando se usa el paquete seco o mortero de cemento con muy poca agua, las superficies de la cavidad deben cubrirse con un recubrimiento de unión que consiste en una capa fina de lechada o mortero justo antes de colocar el material de paquete seco. Este recubrimiento de unión puede ser reumáticamente lanzado o distribuido con cepillo de acero en la superficie.

El mortero del paquete seco debe ser mezclado justo antes de colocarlo. Existe la tendencia a agregarle agua, porque rápidamente se seca y forma grumos cuando no es usado pocos minutos después de preparado. Esto debe evitarse totalmente porque el reacondicionamiento con agua perjudica la resistencia y durabilidad del material.

Se compacta manualmente el paquete seco en el sitio en capas de no más de 9 mm. Es mejor usar para esto un compactador de madera porque los modelos metálicos producen superficies muy lisas y no se logra una buena adherencia. Debe hacerse esta labor con mucho cuidado porque la naturaleza rígida de la mezcla hace fácil la formación de vacíos entre capas.

El mortero plástico, de igual manera, debe colocarse poco después de que sea dosificado y mezclado; y nunca debe ser reacondicionado con agua.

Sea que se use mortero plástico o paquete seco, debe acabar el parche con una superficie más alta que la del concreto adyacente, para así compensar la contracción y el asentamiento. Se usan herramientas de madera para el acabado porque las metálicas pueden oscurecer la superficie y no dar uniformidad. Se debe tratar de imitar la textura lo más que sea posible.

## **5.6 Curado**

Un parche frecuentemente consiste en una capa relativamente superficial de material, la cual es particularmente susceptible de secarse demasiado pronto. Aun en cavidades más profundas puede haber un problema cuando el paquete seco es colocado porque su contenido bajo de humedad lo hace más susceptible a la deshidratación acelerada.

En días calientes y con viento el parche debe ser ligeramente rociado antes del curado. Un tejido de yute mojado y cubierto con polietileno o papel de color claro resistente al agua brinda un buen curado y además evita los extremos de temperatura por su efecto aislante. La inundación y otros métodos de curado también son satisfactorios.

La obra puede llevarse a cabo satisfactoriamente. Necesita planeación detallada, mucho cuidado y seguimiento de cada paso; pero si se aplica estos consejos esenciales probablemente se obtendrán buenos resultados.





## **6. TÉCNICAS Y MATERIALES DE REPARACIÓN**

El primer paso en una obra de reparación es determinar el tipo de deterioro del concreto que se desea rectificar.

Si el deterioro avanza continuamente, investigue la posibilidad de eliminar los factores causantes. Por ejemplo, si se puede desviar el agua que está erosionando un pavimento o puede disminuirse el tránsito en una losa de un pavimento. Si esto se puede hacer, la reparación se limita a crear un parche igual o similar, si por estética la obra lo pide. Si no es posible eliminar las causas del problema de daño del concreto, existen otras alternativas:

- Elimine todo el concreto y reemplácelo con concreto resistente al tipo de exposición existente (química, abrasiva, etc.)
- Proteja el concreto (por ejemplo recubriéndolo, colocando otra superficie o envolviéndolo) si es la exposición la que permite el deterioro.

En los siguientes temas se mencionarán las técnicas y materiales de reparación más comúnmente usados, sin que éstos sean los únicos.

### **6.1 Técnicas de reparación**

#### **6.1.1 Tratamiento con ácido**

El tratamiento con ácido es útil para preparar una superficie de concreto que recibirá un material de reparación o para dar rugosidad a una losa de piso que es resbalosa. El ácido muriático, usualmente diluido de acuerdo con la necesidad de la obra, se pone en la superficie y se frota vigorosamente con cepillo hasta que el burbujeo termina.

Luego la superficie se enjuaga abundantemente con agua. La cantidad de ácido y su concentración, así como la frotación determinan la cantidad de capa superficial que se elimina. La reacción del ácido produce compuestos nocivos y además el mismo ácido produce quemaduras; por esta razón los obreros deben usar anteojos, máscara y botas de seguridad. Debe haber buena ventilación en el área que se va a trabajar.

### **6.1.2 Rellenado de grietas**

El concreto que presenta grietas de pequeño y mediano ancho, si no se puede demoler y reemplazar, puede repararse mediante un material de relleno.

### **6.1.3 Recubrimientos**

Este procedimiento consiste en pintar una película plástica o líquido de recubrimiento sobre el concreto amenazado o dañado. El recubrimiento debe ser cuidadosamente seleccionado de acuerdo a las características de servicio requeridas. Estas barreras pueden ser aplicadas con cepillo, rodillo o rocío. Su permanencia varía grandemente. Se puede usar como impermeabilizante, para protección de químicos agresivos y la prolongación de la vida de servicio ante tránsito pesado.

### **6.1.4 Reemplazo convencional plástico**

El concreto no sano puede quitarse y reemplazarse con material de consistencia plástica, ya sea mortero plástico convencional de cemento Pórtland o algún material plástico de parche. La decisión de quitar total o parcialmente el concreto depende de la extensión y naturaleza del deterioro que se presente. Ésta es una de las causas más comunes de reparación y es apropiada para uso donde la causa del deterioro no es repetitiva o fue eliminada.

### **6.1.5 Esmerilado o ranurado**

Cuando el pavimento no es aceptablemente plano o tiene protuberancias, depresiones y grietas, el esmerilado es una posible técnica de reparación. Sin embargo, a menos que se use equipo pesado moderno, esta técnica es lenta, costosa y produce mucho polvo. Se puede considerar también dar un tratamiento con ácido o uno con equipo cincelador (sea a mano o con uno rotativo mecánico). Sin embargo, ambos presentan inconvenientes de lentitud y contaminación. El ranurado es otro proceso que consiste en hacer canales poco profundos o ranuras en la losa para aumentar la rugosidad superficial. El equipo más moderno para este proceso evita la lentitud, contaminación y costo excesivo que prevalecía hasta hace poco. Antes de decidir aplicar el ranurado, es bueno evaluar el tratamiento con ácido.

### **6.1.6 Inyección**

Las grietas angostas pueden ser reparadas por inyección de resinas epóxicas. Las resinas de metacrilato metálico han sido recientemente introducidas con este propósito. Los puertos de inyección se colocan espaciados y se sellan con resina para evitar fugas al igual que la superficie de la grieta. Se inyecta una resina de dos componentes o resina catalizada a través de los puertos hasta que haya evidencia de que el vacío cercano al puerto se rellenó.

### **6.1.7 Colocación de otra capa de superficie: delgada o regular**

Este proceso consiste en aplicar una capa uniforme de material de reparación, frecuentemente sobre una extensa área de concreto. Se usa para reparar pisos y pavimentos que sean estructuralmente sanos pero cuyas superficies se deterioraron por cualquier situación que el concreto original no pudo soportar o asimilar. Usualmente las capas de espesor menor que 5 cm. se denominan delgadas. Las otras son regulares. El espesor de la capa afecta el nivel final de la losa y dependiendo de la tolerancia de la estructura, las capas pueden ser colocadas o no. Si no se cumple con la elevación final

de la losa, debe eliminarse algo de superficie de la losa original para obtener el nivel deseado al incluir la nueva capa. Naturalmente, esto significa un gran incremento de costo y tiempo.

### **6.1.8 Colocación de otra capa de superficie: ligada o desligada**

Cuando se toma la decisión de colocar una capa delgada o gruesa, también tiene que decidirse si ésta será adherida o no. Si el deterioro es un fenómeno superficial, como descascaros, escamas y fragmentos es usualmente aconsejable que esté ligada. Si el problema incluye agrietamiento o movimiento, puede ser deseable que la capa esté desligada, para que no se refleje el daño de la superficie original. En este caso, debe proveerse el medio para separar la capa y el concreto, generalmente una capa de arena, o lámina de polietileno o ambos, de tal modo que haya movimiento independiente. Las capas desligadas para superficie deben cumplir con la norma para la Clase 7 de pisos, del ACI 302, Guide for Concrete Floor Slab Construction del Instituto Americano del Concreto. Debe ponerse mucha atención para desligar la capa cuando sea desligada, porque de lo contrario quedará semi ligada.

Los requisitos de espesor son dependientes de la fuerza de unión que se puede esperar que exista entre las losas nueva y vieja.

Para asegurar que exista una unión completa, es necesario reparar el pavimento viejo cuidadosamente, todos los materiales sueltos deben ser removidos, las juntas deben ser limpiadas, y el pavimento es algunas veces ranurado y la lechada de unión es colocada antes de construir el nuevo recubrimiento. La sobre carpeta va a ser considerada como parte del pavimento existente.

Las ecuaciones varían dependiendo de si el pavimento queda ligado, parcialmente ligado o desligado y son las siguientes:

$$h_o = h_d - h_E, \quad \text{para ligado}$$

$$h_o = \sqrt[1.4]{h_d - Cr \left( \frac{h_d}{h_e} \right)^{1.4} h_E}, \quad \text{para parcialmente ligado.}$$

$$h_o = \sqrt[2]{h_d - Cr \left( \frac{h_d}{h_e} \right)^2 h_E}, \quad \text{para desligado}$$

donde,

$h_o$  = espesor de la sobrecarpeta de concreto requerida en pulgadas

$h_E$  = espesor de la losa de pavimento existente.

$h_d$  = espesor de la losa calculándola como nueva por el método de diseño de pavimentos de llantas dobles.

$h_e$  = espesor de la losa calculándola como nueva por el método de diseño de pavimentos de llantas sencillas.

$Cr$  = factor de condiciones de la losa de pavimento de concreto o un pavimento de concreto reforzado.

$Cr = 1.00$ , pavimentos en buenas condiciones con pequeñas grietas o grietas no estructurales.

$Cr = 0.75$ , pavimentos con inicio de grietas debido a cargas prematuras, pero no grietas progresivas, o fallas en juntas o uniones.

$Cr = 0.35$ , pavimentos con grietas progresivas debido a cargas acompañado de fragmentación, ripio y grietas en las juntas.

Para pavimentos con concreto reforzado, Cr es asignado de acuerdo a las siguientes condiciones:

Cr = 1.00, pavimentos en buenas condiciones con grietas transversales pequeñas y cortas, poco espaciadas (de 1 a 2 pies), no existen grietas longitudinales.

Cr = 0.75, pavimentos que exhiben grietas transversales poco espaciadas, pero grietas longitudinales pequeñas o sin conexión debido a cargas prematuras. Fragmentación o ripio moderado.

Cr = 0.35, pavimentos con grietas transversales poco espaciadas y grietas longitudinales interconectadas debido a carga. Con bastante fragmentación o ripio; abultamientos en el pavimento.

### **CÁLCULO DE LA SOBRECARPETA DE CONCRETO SOBRE UN PAVIMENTO DE CONCRETO YA EXISTENTE**

Para este caso existen tres alternativas descritas en 6.1.7, se va a tomar el caso desligado para evitar que se transmitan las fallas al pavimento nuevo.

Entonces,

$$h_o = \sqrt[2]{hd^2 - Cr ((hd/he) * hE)}$$

Para un pavimento existente de 6 pulgadas de espesor, en el cual vamos a usar un concreto con resistencia de 570 psi a la flexión, así como un módulo de reacción de la subrasante  $k=200\text{pci}$ . Debemos encontrar los valores de  $h_e$  y  $h_d$ , el primero por el diseño de un pavimento con el método de rueda sencilla y el segundo por el diseño de un pavimento con el método de doble rueda.

Para el primer caso tenemos los siguientes valores:

Eje de carga = 25 kips

Espaciamiento entre llantas = 37 pulgadas

Numero de llantas por eje = 2

Presión de inflado = 110 psi

Con estos datos calculamos el área de contacto de llantas.

Área de contacto de llantas = Carga de llantas / presión de inflado

$(25,000/2)/110 = 114$  pulgadas cuadradas

Luego debemos estimar el valor del factor de seguridad (FS) el cual puede estar entre 1.4 y 2.0, para este caso estimamos una frecuencia de tránsito de este tipo de transporte con rueda sencilla de regular cantidad a la semana por lo que consideramos un valor de 1.7.

Conociendo este valor debemos calcular el Concrete Working Stress, (WS),

Donde  $WS = MR/FS$  y MR es la resistencia estimada del concreto a flexión, entonces  $WS = 570/1.7 = 335$  psi.

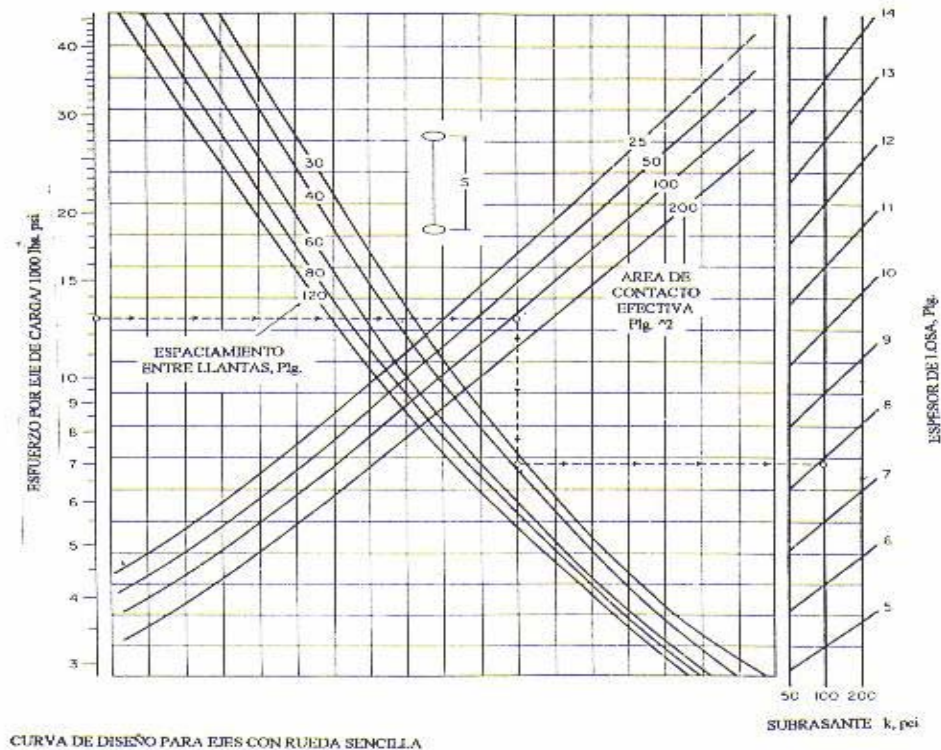
Calculamos la losa de calle por 1,000 lb. de eje de carga.

$= WS/carga \text{ de eje (kips)} = 335/25 = 13.4$  psi

Ingresamos los valores obtenidos en la figura 1, hoja 33 para el diseño para ejes con rueda sencilla, iniciamos con el valor de calle de 13.4 psi, nos movemos a la derecha a la línea del área de contacto que es de 114 pulgadas cuadradas, entonces hacia abajo buscando el espaciamiento entre llantas que es de 37 pulgadas, por último buscamos el espesor de la losa de pavimento sobre la línea del módulo de reacción de la subrasante k de 200 pci, lo cual nos da un resultado de 7.2.

Por lo tanto,  $h_e = 7.2$  pulgadas

Figura 1. Curva de diseño para ejes con rueda sencilla



Robert G. Packard, **Slab thickness design for industrial concrete floors on grade**, p.5



Para el segundo caso (hd) tenemos los siguientes valores:

Eje de carga = 50 kips

Espaciamiento entre llantas = 18 \* 40 \* 18 pulgadas

Número de llantas por eje = 4

Presión de inflado = 125 psi

Con estos datos calculamos el área de contacto de llantas.

$$\begin{aligned}\text{Área de contacto de llantas} &= \text{Carga de llantas} / \text{presión de inflado} \\ &= (50,000/4)/125 = 100 \text{ pulgadas cuadradas}\end{aligned}$$

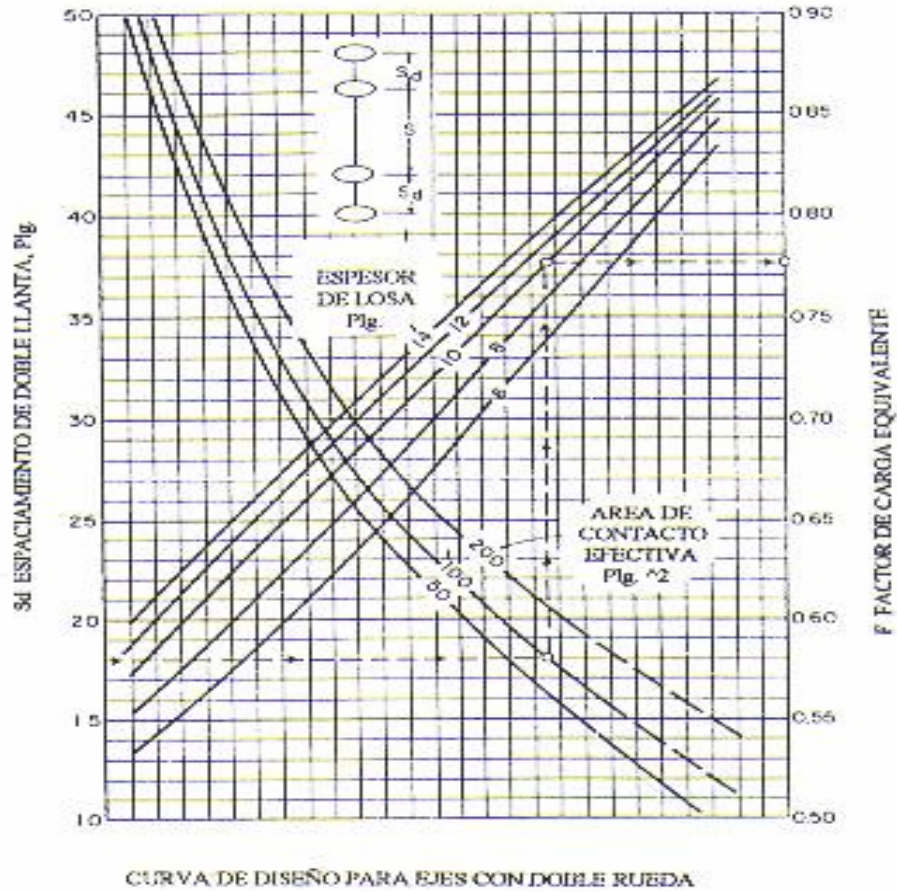
Luego debemos estimar el valor del Factor de Seguridad (FS), para este caso estimamos que la frecuencia de tránsito de este tipo de transporte con doble rueda es solamente de algunas veces a la semana por lo que consideramos en FS = 1.5

Conociendo este valor debemos calcular el Concrete Working Stress, (WS), donde  $WS = MR / FS$  y MR es la resistencia del concreto a flexión, entonces,

$$WS = 570/1.5 = 380 \text{ psi}$$

Ahora procedemos a plotear los valores conocidos a la figura 2 página 35 de diseño para ejes con doble rueda, primero vemos el espaciamiento entre llantas dobles que es de 18 pulgadas; luego nos movemos en la figura hacia la derecha hasta el valor del área de contacto que en este caso es de 100 pulgadas cuadradas; entonces hacia arriba con un espesor de losa de pavimento asumido que en este caso es de 8 pulgadas, por último nuevamente a la derecha para un factor de carga F, en este caso nos da 0.76.

Figura 2. Curva de diseño para ejes con doble rueda



Robert G. Packard, **Slab thickness design for industrial concrete floors on grade**, p.6

Con este valor calculamos el valor de carga de doble rueda por eje, por el equivalente del valor de carga de rueda sencilla por eje, que es el factor F y es igual a  $0.76 * 50 = 38$  kips.

Calculamos la carga por eje por 1,000 lb.

$$= WS/ \text{ carga de eje(kips)} = 380/38 = 10 \text{ psi}$$

Ahora ingresamos los valores conocidos a la figura 1 página 33 para el diseño de pavimentos del eje con rueda sencilla.

Empezamos con losa de calle de 10 psi, luego nos movemos a la derecha con el área de contacto que es nuevamente de 100 pulgadas cuadradas, entonces hacia arriba con el espaciamiento entre llantas como si fuera rueda sencilla en este caso es de 40 pulgadas, ahora hacia la derecha para conocer el espesor de la losa de pavimento poniéndonos sobre la línea del módulo de reacción de la sub-rasante que en este caso es de 200 pci, lo que nos da un valor de 8.7 pulgadas.

Por lo tanto,  $h_d = 8.7$  pulgadas.

Ahora que conocemos todos los valores, los ingresamos a la fórmula

$$h_o = \sqrt{h_d^2 - Cr \left( \frac{h_d}{h_e} \right)^2 hE}$$

$$h_o = \sqrt{8.7^2 - 1.0 \left( \frac{8.7}{7.2} \right)^2 6}$$

$$h_o = 4.8 \text{ pulgadas} = 12.20 \text{ cms. aproximado a 13 cms.}$$

### 6.1.9 Colocación de otra capa de superficie: asfalto

Consiste en colocar una capa de asfalto sobre la superficie de pavimento de concreto con fallas, en este caso la capa de pavimento de concreto sirve como base para el asfalto, y conviene que el asfalto quede desligado al pavimento para que no se transmita las fallas o grietas del concreto al asfalto.

El espesor requerido del recubrimiento de asfalto sobre concreto puede ser determinado por medio de la ecuación:

$$t_o = 3.0 (F h_d - C_b h_c E)$$

Donde,

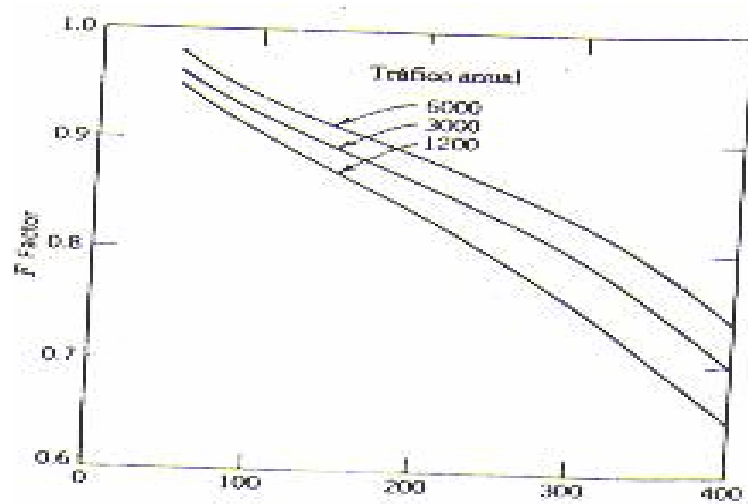
$t_o$  = espesor de sobrecarpeta de asfalto requerida, en pulgadas

$F$  = un factor que proyecta la expectativa de ocurrencia de grietas en la base del pavimento durante el diseño de vida de la sobrecarpeta.

Los valores de  $F$  pueden ser determinados con los datos de las siguientes tablas:

Donde  $F$  es dependiente de la resistencia del pavimento de concreto, por lo tanto es necesario determinar la  $k$  apropiada, ésta se define como el módulo de subrasante basándose en el CBR de la subrasante, antes que el espesor de la sobrecarpeta de asfalto pueda ser determinado.

Figura 3 F factores para diseño de sobrecarpeta



F factores para diseño de sobrecarpeta

Yoder, E.J. y M.W. Witczak, **Principles of pavements design**, p.693

$hE$  = espesor de la losa de concreto existente, o el espesor equivalente de la plancha de pavimento de concreto tomando la misma capacidad de carga como el pavimento existente, en pulgadas.

$hd$  = espesor de la losa del pavimento calculada como nueva, por el método DTN (The Design Traffic Number).

$C_b$  = factor de condiciones del pavimento

Los factores de condiciones de la losa de pavimento existente son asignados sobre la base de las siguientes condiciones, dependiendo si es solo concreto o concreto reforzado.

$C_b = 1.00$ , pavimentos en buenas condiciones con algunas grietas pequeñas, y pocas o ninguna grieta del tipo progresivo.

$C_b = 0.75$ , pavimentos con grietas progresivas. Fragmentación y ripio en las juntas.

$C_b = 0.50$ , pavimento con grietas múltiples, con fragmentación y ripio en las juntas y grietas.

Si las losas de concreto tienen refuerzo los factores de condiciones son asignados sobre la base de las siguientes condiciones:

$C_b = 1.00$ , pavimentos en buenas condiciones, pero existen grietas transversales con poco espaciamiento debido a cargas, grietas longitudinales interconectadas, y fragmentación y ripio moderado.

$C_b = 0.75$ , pavimentos que exhiben numerosas grietas transversales poco espaciadas y grietas longitudinales. Mucho ripio o fragmentación y evidencia de abultamiento en la losa.

Esta ecuación fue determinada en gran medida por pruebas de tráfico.

Según los criterios aceptados los recubrimientos de asfalto sobre el pavimento de concreto, éste puede ser usado únicamente cuando el espesor de la base granular es menor de 4 pulgadas.

## **CÁLCULO DE LA SOBRECARPETA DE ASFALTO SOBRE UN PAVIMENTO DE CONCRETO**

$$t_o = (F h_d - C_b h_E)$$

Para un DTN estimado de 1,000 vehículos, en un pavimento de espesor 6 pulgadas, con un CBR de 10, tenemos:

De la Tabla 1, se estima el módulo de reacción de la sub-rasante  $k$ , basándose en el CBR = 10, éste nos da un valor de  $k = 200$  pci, éste nos sirve para el cálculo de  $F$ , el cual se obtiene de la figura 3.

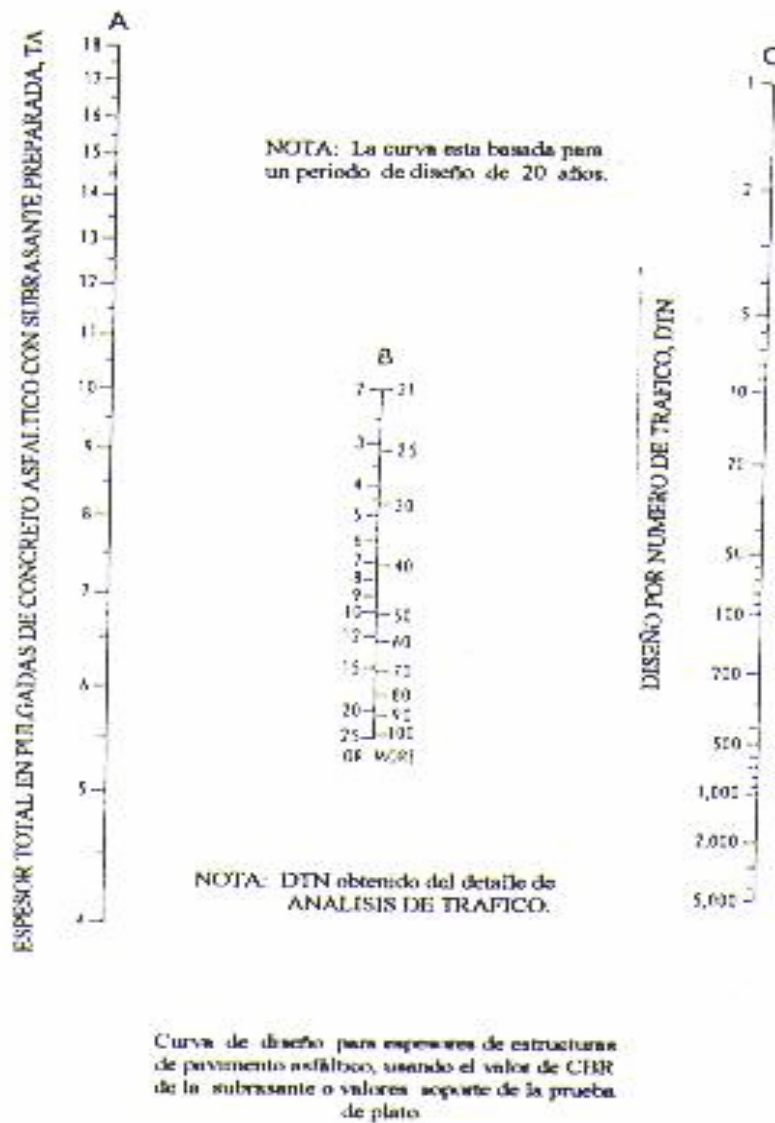
Al plotear basándose en los valores obtenidos se obtiene un valor de  $F = 0.81$ .

Ahora se debe obtener el valor de  $h_d$ . Éste se obtiene de la Tabla 2, plotando con los valores del CBR y el DTN, lo cual da un resultado de  $h_d = 8.5$  pulgadas, éste es el cálculo del pavimento como nuevo.

El valor de  $C_b$  se obtiene basándose en los valores asignados en el inciso 6.1.9, para este caso por ser un pavimento en buenas condiciones generales se estima un  $C_b = 1.00$ .

Por último el valor de  $h_E$  que es el espesor de la losa de pavimento existente que en este caso es  $h_E = 6$  pulgadas.

Figura 4. Curva de diseño para espesores de estructuras de pavimento asfáltico, usando el valor de CBR de la sub-rasante o valores soporte de la prueba de plato.



Instituto del asfalto, **Diseño de espesores, espesor total de estructuras de pavimento y asfalto para supercarreteras y calles**, p.28



Ahora se procede a despejar el valor de  $t_o$ , ingresando todos los valores a la ecuación del cálculo de la sobrecarpeta, entonces tenemos:

$$t_o = 3.0 \left( (0.81 * 8.5) - (1.0 * 6) \right) = 2.65 \text{ pulgadas} = 6.7 \text{ cms. aproximado a 7 cms.}$$

Éste es el valor de la sobrecarpeta de asfalto sobre el pavimento de concreto ya existente.

El valor mínimo de la sobrecarpeta de asfalto aceptado es de 4 cms.

### **TABLA COMPARATIVA**

Sobrecarpeta	Espesor	Costo total
Concreto	13 cms.	Q.129,732.97
Asfalto	7 cms.	Q.105,616.00

Se puede observar que el espesor de la sobrecarpeta de concreto es solamente 2 cms. menor que el espesor de la losa del pavimento de concreto que se quiere reparar, y en las situaciones donde se tiene restricciones para incrementar en gran cantidad el espesor de la losa de pavimento inicial o el peso de la misma, esta opción nos deja varias limitaciones para poder trabajarla.

El espesor de la sobrecarpeta de asfalto por su parte es menor, por lo que puede usarse con mayor facilidad en las losas de pavimento con restricción de incremento de espesor de la losa inicial o incremento del peso de la misma.

Además, el costo total de la reparación con una sobrecarpeta de asfalto, es menor que el costo total de la sobrecarpeta de concreto.

El caso de la sobrecarpeta de concreto sobre un pavimento de concreto puede ser tomada en cuenta, cuando las condiciones de tráfico sean más severas, en este caso la sobrecarpeta de asfalto podría deteriorarse muy rápidamente y no cumplir con su objetivo.

Como ejemplo de reparaciones que se han realizado por problemas de pavimento con fallas a temprana edad, tenemos el caso del pavimento que se tiene en observación en un municipio del país.

Este pavimento se diseñó inicialmente de concreto, pero en los primeros días de su vida, presentó una gran cantidad de grietas que fueron las que motivaron a pensar en un tipo de reparación que minimizara los efectos negativos que éstas pudieran representar durante la vida útil del pavimento.

De acuerdo con las opciones que se tomaron en cuenta, se consideró que la más adecuada para este caso en particular, era la elaboración de una sobrecarpeta de asfalto sobre el pavimento de concreto ya existente, esto debido a que en este caso representaba ser la forma más económica para la reparación del pavimento. Por ello el factor económico fue el que más influyó en esta decisión, ya que la elaboración de una sobrecarpeta de concreto no representaba ningún tipo de restricción que no fuera que era más elevado su costo en comparación con el asfalto.

En este caso en particular, se tomó la decisión de agregar 5 cms. de asfalto sobre el pavimento ya existente, este valor es solamente 2 cms. menor que el calculado en el ejemplo de la sobrecarpeta de asfalto sobre el pavimento de concreto con fallas a temprana edad, descrito en este trabajo, y el espesor de 5 cms. mencionado de la sobrecarpeta que se tiene en observación, ha trabajado de una forma bastante aceptable y aún se encuentra en buenas condiciones de servicio, a pesar de que a la fecha, cuenta con aproximadamente 6 años de vida útil, por lo que puede considerarse un espesor bueno y que ha dado resultados satisfactorios.

Sin embargo, hay ciertos factores que influyen a que la sobrecarpeta no se haya deteriorado en una forma considerable, durante el tiempo que ha sido utilizada, por ejemplo, en este municipio, que se puede considerar con bastante comercio, hay otras vías de acceso, por lo cual el tráfico que circula diariamente, se distribuye entre las otras alternativas que existen, esto favorece a que esta calle sea principalmente usada para tráfico liviano y en ocasiones para tráfico pesado, lo que ocasiona que no se mantenga congestionada de vehículos, esto debido también a que es una calle más bien de ingreso a una área de tipo residencial, por lo que debe considerarse que no es una calle con tránsito muy elevado, sino más bien de tránsito regular.

Lo anterior nos muestra, que son varios los factores que influyen en el buen o mal funcionamiento de una reparación de un pavimento, y que debe tenerse mucho cuidado al hacer los cálculos, para estimar un espesor de sobrecarpeta que llegue a cumplir con las expectativas.

Figura 5. Sobrecarpeta de asfalto sobre pavimento de concreto con fallas a temprana edad



Figura 6. Vista de tramo de sobrecarpeta de asfalto sobre un pavimento de concreto



Aunque al momento de realizar la reparación, pudieron mejorarse algunos elementos, como el desligado de la sobrecarpeta, para que no se transmitieran los cortes del pavimento de concreto ya existente a la sobrecarpeta, puede tomarse el ejemplo descrito, como un claro ejemplo de que esta alternativa es de las más acertadas al momento de una reparación sobre un pavimento de concreto con fallas a temprana edad.

#### **6.1.10 Encamisado**

Este proceso consiste en envolver o sujetar un material más resistente alrededor de la estructura que está siendo atacada o amenazada. El material puede ser metal, hule, plástico o concreto de alta resistencia; y es sujetado mediante pernos, tornillos, clavos, adhesivos, tirantes o solamente por gravedad.

### **6.2 Materiales de reparación**

#### **6.2.1 Ácidos**

El material más común para hacer este tratamiento químico es el ácido muriático. Una tasa común de dilución es una parte de ácido comercial (alrededor de 30% de cloruro de hidrógeno) con cuatro partes de agua y la aplicación puede variar entre 1 metro cuadrado por litro hasta 4 metros cuadrados por litro. Es imperativo que la solución ácida sea lavada completamente de la losa después de que haya finalizado la reacción.

#### **6.2.2 Bentonita**

La bentonita es roca pulverizada derivada de cenizas volcánicas con gran porcentaje de minerales de arcilla, particularmente bentonita de sodio. El material absorbe grandes cantidades de agua y se hincha hasta 30 veces del volumen absoluto original, formando una masa gelatinosa que actúa como una barrera efectiva contra el agua.

### **6.2.3 Recubrimiento bituminoso**

Los recubrimientos bituminosos basados en asfalto o alquitrán mineral, se usan para aislar el concreto del agua o protegerlo de la intemperie. Tienen bajo costo, son conocidos por los obreros y realmente son a prueba de agua cuando se aplican correctamente. Su espesor, que afecta directamente su resistencia al paso de agua y a la intemperie, varía según la exposición. Entre sus desventajas se cuentan la necesidad de reponerlos periódicamente porque se desgastan, la contaminación y olor desagradable cuando se aplican, su tendencia a secarse y agrietarse, su sensibilidad a las temperaturas ambientes y la destrucción rápida del recubrimiento cuando ciertos líquidos como gasolina se derrama sobre ellos. Los recubrimientos bituminosos pueden ser aplicados en capas delgadas o también pueden obtenerse capas mayores combinando capas de vidrio, tejidos de algodón con asfalto, felpa impregnada de asfalto y una cubierta de asfalto o alquitrán mineral.

### **6.2.4 Concreto, mortero y lechada**

Estos elementos hechos con cemento Portland ofrecen varias ventajas como materiales de reparación: movimiento termal similar al del concreto existente, similitud de apariencia, costo relativo bajo, gran disponibilidad y mucha familiaridad para los obreros.

La lechada debe usarse siempre que los espacios sean mínimos y donde se esté seguro de que no quedan vacíos. Por otro lado, la lechada tiene un alto contenido de humedad, y por consiguiente, una contracción mayor a la de un mortero o concreto bien diseñado.

### **6.2.5 Selladores elastoméricos**

Cuando las grietas que se van a llenar están activas, es decir, que experimentan movimiento apreciable, la alternativa a menudo es un sellador elastomérico. Estos materiales deberían resistir la infiltración de contaminantes y basura y agua dentro de la grieta, exhibir extensibilidad duradera, y adherirse a los bordes de la grieta. Dos tipos básicos de selladores elastoméricos están en uso:

Los aplicados en caliente, que son usualmente las mezclas de materiales bituminosos con hule compatible reciclado. Los aplicados en frío, que pueden basarse en cualquiera de las variedades de materiales y pueden requerir mezclado en obra.

La mejor idea para seleccionar un sellador elastomérico para una aplicación particular es buscar el consejo de un productor o vendedor de reputación, tomando en consideración la vulnerabilidad ante la intemperie, el rango de temperaturas en que trabaje y otros factores ambientales como el tránsito, la adherencia y la elasticidad.

### **6.2.6 Epóxicos**

Los epóxicos han llegado a ser reconocidos como materiales excelentes para ciertas aplicaciones especializadas; en algunos casos éstos han sido muy valiosos. Los epóxicos son compuestos orgánicos que cuando se mezclan con agentes endurecedores, producen materiales tenaces de fraguado y endurecimiento rápido, que son química y físicamente estables. Además son resistentes a la formación de grietas y a muchos químicos que atacan al concreto. Ellos tienen excelentes propiedades adherentes. En su forma pura son duros y lisos, pero pueden ser modificados. Por ejemplo, se pueden hacer con consistencia de hule para usarlos como sello elastomérico y relleno, o finos de agregado fuerte para usarlos como superficie antideslizante.



Las desventajas de los epóxicos para la reparación de concreto incluyen: alto costo, efecto alérgico en algunos obreros y propiedades físicas muy distintas de las del concreto. Por ejemplo, el coeficiente de expansión térmico lineal es 1.4 a 18.7 veces más alto que el del concreto, la resistencia a la tensión es de 1.25 a 13 veces más alta y la resistencia a la flexión es de 1 a 10.5 veces más alta.

### **6.2.7 Morteros expansivos, lechadas y concretos**

Éstos son materiales patentados que combaten el problema de contracción por medio de ingredientes que producen fuerza expansiva que contrarresta la magnitud de los esfuerzos de contracción. Las fuerzas expansivas pueden ser obtenidas por:

- Uso de polvo de aluminio que produce gas hidrógeno
- Agregados metálicos que se hacen para expandirse por medio de un catalizador
- Cemento expansivo químicamente
- Otros métodos patentados

La efectividad de estos materiales varía mucho por lo que debe examinarse bien su comportamiento en aplicaciones previas. Algunos han producido excelentes reparaciones muy duraderas; otros han exhibido falta de densidad y otros problemas que pueden menoscabar su efectividad.

### **6.2.8 Concreto con fibras**

Con la inclusión de fibras en el concreto se puede lograr duplicar las resistencias a la tensión y flexión, 1.6 veces la resistencia hasta el agrietamiento inicial, 9 veces la resistencia al impacto o 1.3 veces más abrasión que el concreto convencional sin fibras. Las fibras son de tamaño variable de 6 mm. hasta 75 mm hechas de metal, plástico, fibra de vidrio o materiales naturales; el acero es el más comúnmente usado.

El concreto con fibras ha sido usado con éxito para sobrecarpetas delgadas de carreteras, calles y aeropistas; el manejo y colocación puede ser difícil por los grumos de fibra que se tienden a formar y por la pérdida de trabajabilidad.

### **6.2.9 Materiales de fraguado rápido**

Su tiempo de fraguado puede ajustarse de acuerdo a las proporciones de sus componentes. Están disponibles como:

- Aditivos, o
- Materiales listos para usarse que solamente tengan que mezclarse con agua.

Son usados en pisos o reparación de pavimentos donde el tránsito no debe ser interrumpido por mucho tiempo.

### **6.2.10 Materiales para encamisar**

El encamisado puede usarse en condiciones de tránsito muy pesado, exposición a ácidos y presiones de agua muy altas. Muchos materiales se pueden usar para encamisar, incluyendo plásticos y concretos de alta resistencia, pero los más comunes son el acero y el hule. El encamisado es un proceso muy costoso y es mejor evaluar otras alternativas para tratar de solucionar el problema. Debe decidirse también cuáles áreas deben encamisarse, cuál material se usará, debe estudiarse si hay acceso suficiente para colocar la camisa, cómo se sujetará y si las juntas deben sellarse.

### **6.2.11 Látex**

El concreto o mortero modificado con la inclusión de aditivo látex ha resultado ser un material muy útil para colocar nuevas superficies de pisos y losas de puente. Éstos se conocen como concreto de látex o concretos modificados con látex y más recientemente como concretos modificados con polímeros.

Deben distinguirse de los concretos con polímero que contienen polímeros, pero no látex. Una mezcla modificada con látex tiene las siguientes características especiales:

- Permite hacer bordes agudos
- Se adhiere bien con el concreto sano existente
- Es suficientemente retentiva de agua para no requerir una membrana o agente de curado sobre ella.
- Desarrolla alta resistencia a la compresión y tensión
- Es resistente a la intemperie, los álcalis y los ácidos diluidos

A pesar de ser más costosa que una mezcla común de cemento Portland, tiene un costo más bajo si se compara con otros tipos de materiales de superficie, incluyendo aquellos basados en epóxicos. Se usan varios látex sintéticos diferentes (o sea partículas de polímero con el uso de aditivos) y el látex porque algunos de los agentes aditivos, especialmente los inclusores de aire, no son compatibles con el látex. Es necesario hacer mezclas de prueba. Las mezclas modificadas con látex son en cierta forma más difíciles de manejar y de dar acabado que las mezclas convencionales; éstas fraguan rápidamente y forman una membrana que se rompe al ser alisadas fuertemente.

### **6.2.12 Aceite de linaza**

Para corregir problemas de descascaros de superficie, que no sea tan severo que requiera el uso de recubrimientos, se puede recurrir al aceite de linaza para evitar más deterioro. Hablando estrictamente, este elemento no es un material de reparación porque su función es evitar solamente más fragmentación y no corregirla. La solución de aceite de linaza se aplica a la superficie y penetra hasta 3 mm. Esto forma una capa de baja permeabilidad.

### **6.2.13 Polímeros**

El concreto, mortero o lechada modificado por la incorporación de un polímero que hace las veces de matriz ofrece varias ventajas en obras de reparación. Estas ventajas incluyen altas resistencias tempranas, posibilidad de hacer bordes agudos, buena resistencia a la adherencia y más durabilidad, aun bajo condiciones que dañarían al concreto común. Los materiales usados pueden ser: epóxicos, poliuretanos, poliéster insaturado y metacrilato de metilo, entre otros. Muchos de estos productos tienen marcas definidas y existen literatura y datos técnicos para seleccionar el producto más eficiente para la obra. Un estudio de costo versus eficacia es una buena idea aquí, como lo es en cualquier reparación. El concreto denominado impregnado con polímero está hecho con un monómero, mezclado con un catalizador para impregnar el concreto endurecido; luego el monómero se vuelve polímero por medio de calentamiento.

### **6.2.14 Endurecedores de piso**

Sobre un piso que se desintegra en polvo por una mala práctica del acabado, o por el curado incorrecto; un endurecedor líquido puede dar una solución temporal al problema. Esta clase de producto ha sido efectiva para eliminar la superficie polvorienta si el tránsito no es pesado. En algunos ensayos se han obtenido mejores resultados con los productos de fluosilicatos. Además, el silicato de sodio es bueno y hay otros materiales que también tienen alguna efectividad.

### **6.2.15 Cementos especiales**

Los concretos, lechadas y morteros que son deseables para algunos tipos de reparaciones pueden ser hechos de cementos especiales. Los morteros hechos con cemento de aluminato de calcio (también llamado cemento de alta alumina o aluminoso) fraguan entre 2 y 4 horas y pueden alcanzar resistencias de 210 kg/cm<sup>2</sup> a compresión en 6 horas.

El concreto y el mortero hechos con este cemento son más resistentes al deterioro de ácidos, sulfatos, álcalis, agua de mar, materiales con azúcar, aceites y grasas. Debe tenerse mucho cuidado en la selección y mezcla de materiales con este tipo de concreto porque la contaminación con concreto endurecido, cemento Portland común, yeso o cal pueden causar un fraguado falso muy rápido. Además, el concreto con aluminato de calcio puede perder resistencia con el tiempo. Los cementos expansibles disponibles permiten contrarrestar el efecto negativo de la contracción. El cemento Portland tipo III, especialmente cuando se usa en conjunto con un aditivo acelerador de resistencia. Puede producir concretos y morteros que son propicios para obras de reparación rápida. Un concreto con fosfato de magnesio existe también para obras de parcheo.



## **7. EPÓXICOS PARA LA REPARACIÓN Y RESTAURACIÓN DE CONCRETO**

Estos materiales son efectivos en muchas clases de usos, siempre y cuando se haya asegurado de escoger la fórmula correcta.

El reemplazo del concreto es cada vez más caro a medida que encarecen los materiales y la mano de obra, es por ello que ahora se presta más atención a los materiales de restauración y reparación del concreto, que permiten efectuar reparaciones efectivas, ahorrar en costo y que suelen ser la única alternativa.

Entre los materiales que se han evaluado más de cerca y tienen mayor aceptación se destacan las resinas epóxicas. Usadas por sí solas o en la combinación con otro material de construcción, las resinas han hecho posible reparaciones que antes hubieran requerido el reemplazo total del concreto. A pesar de que las resinas son algo costosas, su costo total a menudo es el menor cuando se toma en cuenta la calidad de la reparación que se puede obtener con otros materiales. A su vez, el costo es poco significativo se compara con el costo del reemplazo total.

### **7.1 Desarrollo**

Las resinas epóxicas fueron originalmente desarrolladas en la década de 1940 para uso en recubrimientos cocidos. Su producción ha crecido de unos 5.000 kilogramos por año a más de 250 millones de kilogramos por año hoy en día. Lo que más ha contribuido con este crecimiento considerable es su aplicabilidad en la construcción en concreto.

Las características de los epóxicos los hacen compatibles con el concreto. Sin embargo, por su alta tensión superficial su uso es difícil en principio. La reducción de la viscosidad no tiene efecto en la tensión superficial y por tanto no mejora las características de flujo del epóxico. Posteriores fórmulas y desarrollos produjeron compuestos con tensiones de superficie suficientemente bajas para humedecer el concreto y crear un flujo aceptable.

Hoy en día muchas fórmulas diferentes están disponibles, cada una diseñada para realizar una función particular: sellado, curado, adherencia y recubrimiento. Debe ponerse atención al seleccionar el producto adecuado para una necesidad específica en la obra. La mayor parte de los fabricantes de epóxicos y los distribuidores ofrecen asistencia técnica para asegurar la selección correcta así como el manejo y aplicación adecuadas.

## **7.2 Epóxicos para adherencia**

Existen varios epóxicos que pueden usarse para obtener alta resistencia de adherencia entre concreto y concreto, (curado o recién colocado y fresco), es decir que puede usarse para colocar una sobrecarpeta de concreto sobre concreto. Estos compuestos son usualmente 100% sólidos (y por tanto no se contraen) y son sistemas de dos componentes que requieren mezclarse justo antes de su aplicación.

La mayor parte están diseñados para aplicarse sobre superficies húmedas a temperaturas sobre 0 grados centígrados. La mayoría de estos epóxicos tienen un tiempo de fraguado de 15 a 30 minutos a 24 grados centígrados, lo que significa que tiene que mezclarse solamente la cantidad que pueda ser usada en ese tiempo. El tiempo de fraguado final varía con la temperatura; a bajas temperaturas el tiempo se alarga. La mezcla de los dos componentes produce una reacción exotérmica (que libera calor) que puede ser una gran ventaja cuando se trabaja en clima muy frío.



En este tipo se encuentra el adhesivo epóxico e insensible a la humedad, el cual es un sistema de resinas epóxicas, 100% sólidos, libre de solventes. Es un adhesivo rígido de alto módulo y alta resistencia.

Este tipo de epóxicos tiene un rendimiento en superficie lisa de un litro para cada dos metros cuadrados.

Los ensayos de laboratorio han demostrado que la resistencia última de la adherencia con epóxico entre secciones de concreto (concreto fresco con concreto endurecido o dos secciones endurecidas), o entre el concreto nuevo y el acero, excede la resistencia a la tensión del concreto curado. Estos epóxicos para adherencia son fabricados en varias consistencias, según el propósito para el cual hayan sido diseñados.

### **7.3 Epóxicos para reparaciones extensas**

Varias técnicas y distintos materiales pueden ser empleados para hacer extensas reparaciones en estructuras de concreto. Su selección depende de los resultados deseados, la vida útil y los costos, los agentes epóxicos en combinación con concreto nuevo son la solución más económica y asegura que la reparación tendrá la resistencia de un concreto colado monolíticamente.

Los agentes epóxicos de adherencia no sólo producen una unión muchas veces más fuerte que la del concreto por sí mismo, sino que además crean una membrana impermeable que detiene el movimiento del agua del concreto nuevo al concreto preexistente.

En este tipo de epóxicos puede emplearse el mismo recomendado en el inciso 7.2.

#### **7.4 Parcheo**

Para reparaciones menores en áreas fragmentadas, agujeros, grietas u otros defectos localizados, los morteros epóxicos tienen muchas ventajas.

Para este caso se recomienda una resina epóxica de super baja viscosidad de dos componentes, 100% sólidos, insensible a la humedad, que actúa como sellador y soldador de grietas y fisuras, para apertura rápida al tráfico. Además de poseer una super baja viscosidad, posee altas adherencias, formulada especialmente para llenar tanto grietas húmedas como secas. Cumple con las especificaciones de las normas ASTM C-881 Y AASHTO M-235.

El rendimiento típico es de 2 a 3.5 metros cuadrados por litro, cuando se usa en grietas. El rendimiento puede variar dependiendo de la absorción de la superficie a tratar. Superficies irregulares y con mucha porosidad lo disminuyen.

El costo de los epóxicos, aún a pesar del uso de materiales de relleno en ellos, puede ser prohibitivo para obras de reparación muy grandes. Sin embargo, a veces el mayor costo se compensa con el ahorro de tiempo. Por ejemplo, la reparación de calles se ha completado en menos de una jornada de 8 horas y entonces se reduce al mínimo el costo de detener y desviar el tránsito vehicular.

#### **7.5 Reparación de grietas**

La causa del agrietamiento de una superficie de concreto tiene que ser determinada antes de proceder con las reparaciones. Los defectos estructurales deben ser corregidos antes de rellenar las grietas para evitar que éstas se vuelvan a formar. Las grietas más grandes pueden ser reparadas con agentes epóxicos para adherencia en la misma forma que los parches. Las grietas deben estar libres de suciedad o basura y además no tener concreto dañado o suelto. A veces es necesario usar un cincel para ampliarlas de tal modo que se pueda usar una cuchara para la colocación y acabado del relleno.

En estos casos también se puede utilizar un sellador elastomérico a base poliuretano, el cual es recomendado especialmente para grietas largas, como las que aparecen en un mal diseño de juntas, un cartucho que contiene 305 metros cuadrados rinde 6 metros lineales de juntas con una sección de 1 cm. x 0.5 cms. (ancho por profundidad).

### **7.6 Selladores de epóxico**

El concreto recién colocado o parcialmente deteriorado o las superficies con parches de epóxico pueden ser protegidas eficazmente con selladores penetrantes de epóxico. Estos son epóxicos de dos partes con contenidos de sólido en la escala de 15 a 20 por ciento y 6 a 8 horas de vida plástica a 24 grados Celsius. Estos pueden ser colocados con cepillo, con rodillo o rociados. El sellador penetra la estructura porosa del concreto y crea una barrera efectiva que inhibe la migración de humedad y la penetración de químicos corrosivos. Este sello no crea una membrana en la superficie del concreto, de tal modo que pueda ser utilizada en concretos arquitectónicos y particularmente en carreteras donde el efecto sellante se necesita pero no pueden ser perjudicadas las propiedades antideslizantes del concreto.

### **7.7 Recubrimiento con epóxico**

Muchos recubrimientos epóxicos de propósito especial han sido producidos para el uso en la protección y reparación de superficies sujetas a abrasión y desgaste. Existen fórmulas especiales para uso en pisos y pasillos de industrias y comercios, áreas de estacionamiento y otras áreas sujetas a tránsito. Normalmente tienen 100 por ciento de sólidos por peso y una viscosidad que varía desde la del aceite pesado hasta la de pasta pesada. Pueden ser aplicadas como recubrimiento o aún como material de superficie o acabado.

El recubrimiento epóxico apropiado tiene alta resistencia a la abrasión y da mucha resistencia al desgaste. Es también resistente al ataque de ácidos medios, álcalis, aceites y gasolinas, y forma una barrera impermeable para esos materiales así como al agua.

Los recubrimientos de epóxico pueden prolongar la vida de las superficies de concreto, evitando mayor deterioro y cuando se aplican sobre materiales de parcheo producen una reparación duradera.

Como recubrimientos se pueden mencionar dos casos, el primero es un mortero fluido para nivelación y relleno de dos componente, con base en cemento mejorado con resinas sintéticas, para su preparación se debe de mezclar igual cantidad del ingrediente A (líquido) y luego el ingrediente B (polvo), este mortero puede ser usado con un espesor mínimo de 5 mm. y un máximo de 30 mm. en caso de requerirse espesores mayores de 12 mm. debe aplicarse en varias capas, inmediatamente después de la colocación del mortero debe procederse al curado de la superficie para protegerla de las condiciones climatológicas. Tiene un rendimiento de aproximadamente 2.2 kg/metro cuadrado para cada mm. de espesor.

El segundo es un mortero de reparación de dos componentes, consistencia pastosa, altas resistencias mecánicas y gran adherencia, usado para la reparación de pisos con altas exigencias mecánicas, su preparación es igual al anterior y puede aplicarse en capas no menores a 3 mm. y no mayores a 20 mm. si se desea un espesor mayor debe esperarse entre cinco y diez minutos para colocar la siguiente capa, y se puede hacer el acabado deseado con llana de metal o madera, inmediatamente después de la aplicación del producto se debe proceder a curar la superficie. Posee un rendimiento de 6.6 Kg./ metros cuadrado para el espesor mínimo de 3 mm. aproximadamente 2.2 Kg. por cada litro de relleno. En ninguno de los dos casos mencionados hay variación de las propiedades mecánicas de los morteros por el incremento del espesor de las capas, estas propiedades se mantienen igual sin importar que el espesor aumente.

## **8. REPARACIÓN CON MATERIALES DE FRAGUADO RÁPIDO**

La reparación como alternativa al reemplazo de las superficies de concreto deterioradas se ha vuelto más necesaria a medida que el costo de materiales y mano de obra sube. En el caso de la reparación de pisos y pavimentos se presenta una situación especial, ya que existe la necesidad de instalar un parche duradero con la menor interrupción del tránsito vehicular si es que el pavimento ya está funcionando o bien habilitarlo lo más pronto posible si éste aún no ha empezado a funcionar. Existen una gran cantidad de materiales de bache en el mercado y el encargado de la reparación debe elegir el material indicado dependiendo de la situación, tratando de realizar una reparación permanente, en un corto tiempo y a bajo costo.

### **8.1 Preparación del parche**

Sin importar el material del parche o bache, la preparación correcta del área a reparar es de primordial importancia. Cualquier herramienta de impacto que se use para remover el concreto tiende a dejar una capa inservible al ser desprendidos los fragmentos de concreto. A menudo, cuando un parche falla es porque no se mantiene ligado y se separa con una capa fina de fragmentos de concreto, aunque el material del parche esté intacto. Esto puede ocurrir por el resquebrajamiento de la interfase durante la remoción o porque el concreto deteriorado no fue quitado totalmente antes de colocar el parche.

Es por ello que lo más importante en la preparación del área donde se va a trabajar es la remoción y limpieza total del concreto no sano, para evitar los problemas de adherencia con la sub-base, lo cual puede lograrse con rociadores de agua a presión, los que eliminan el polvo y residuos de concreto.

## 8.2 Permeabilidad del parche

Existen problemas producidos por la permeabilidad de los materiales utilizados, éstos pueden ser recurrentes debido a que por lo general no se incrementa el espesor de la cobertura.

Después de preparar la superficie para el parche, debe aplicarse el material adecuado para el mismo. Ese material debe ser el apropiado en términos de costo y facilidad de aplicación así como de durabilidad. Esto significa que diferentes materiales pueden ser utilizados en situaciones distintas.

Muchos productos patentados contienen variadas cantidades de cemento Portland. Estos productos pueden ser subdivididos en cemento Tipo III, cemento Tipo III con aditivos y cemento de fraguado regulado.

El cemento Tipo III, con o sin aditivos, se ha usado para trabajos de parcheo por más tiempo y más extensamente que otros materiales. Es de bajo costo, fácil manejo, sencilla utilización y razonablemente duradero. La ganancia de resistencia de las mezclas ricas y de bajo revenimiento (420 a 590 kilogramos por metro cúbico) es rápida en clima caliente y no se requiere equipo especial para colocarlas.

Una desventaja de este material es que tiene alta contracción y una tendencia a agrietarse que puede ocurrir si no se tiene especial cuidado de mantener bajo el contenido de agua. También, en clima fresco o muy frío, la tasa de ganancia de resistencia es demasiado lenta para permitir una pronta apertura de los pavimentos al tránsito.

El cemento Tipo III con aditivos puede requerir más tiempo de fraguado y alcanzar la resistencia apropiada más rápidamente que el mismo tipo III sin aditivos. Los aditivos pueden también mejorar otras cualidades. El acelerante más comúnmente usado es el cloruro de calcio, usualmente premezclado con agua y añadido con una tasa no superior a 2% por peso de cemento.

Otros acelerantes incluyen cloruros, carbonatos de álcali, sulfatos, nitratos, silicatos, hidróxidos de alcaloides metálicos, fluoruros, fluosilicatos y trietanolamina. Algunos acelerantes patentados reportan no contener cloruro de calcio. El cemento Tipo III puede ser preparado con aditivos inclusores de aire, o se pueden agregar los aditivos para incluir el aire en el momento de mezclar el concreto.

El cemento de fraguado regulado ha sido en varias regiones de los Estados Unidos. En muchos casos se comportó bien. Sin embargo, las temperaturas altas disminuyeron su tiempo de manejo, y a pesar de que con aditivos esto puede ser regulado, la sensibilidad especial de este cemento a la temperatura demerita un poco su utilidad. En la actualidad no se produce regularmente.

### **8.3 Resinas de fraguado térmico**

Los morteros y concretos de resinas epóxicas para parcheo han sido usados ya en ocasiones. Las resinas disponibles tienen un amplio rango de tiempos de fraguado. Estos productos tienen cualidades comprobadas y son estables cuando son expuestos a soluciones salinas. Algunas se pueden endurecer a  $-20$  grados Celsius y algunas tienen la facultad de adherirse a superficies húmedas o saturadas. Sin embargo, lo más común es que la superficie deba estar seca y limpia y entre 15 y 40 grados Celsius. Aunque una resina epóxica se endurezca eventualmente en clima más frío que para el cual fue diseñada, la calidad del parche probablemente desmejorará al ocurrir esto.

Las resinas de poliéster no han sido tan ampliamente usadas como las epóxicas. Éstas generalmente se endurecen con la adición de pequeñas cantidades de catalítico. Su dosificación y mezclado necesita más precisión que la de los epóxicos de dos componentes, que se mezclan en proporciones de 1 a 1 o hasta 1 a 5.

En la actualidad tanto las resinas epóxicas como las de poliéster carecen de especificaciones adecuadas para asegurar que la entrega de material sea realizada

correctamente, es mejor comprarlas por su nombre comercial con base en experiencias pasadas.

Otros materiales que se han convertido en resinas duras por polimerización pueden resultar útiles para impregnar el concreto deteriorado. Todavía hay mucho que aprender acerca de estos materiales y mucha investigación se continúa realizando hoy en día.

#### **8.4 Termoplásticos**

El sulfuro fundido ha sido utilizado para colocar pernos de anclaje y postes de hierro para rieles, por lo tanto, puede ser usado para parches de endurecimiento rápido en el concreto. También ha sido usado para impregnar el concreto deteriorado y como un adhesivo para concreto.

#### **8.5 Sulfato de calcio**

Muchos cementos para parcheo conocidos comercialmente son básicamente sulfato de calcio. Muchos contienen cemento Portland en varias cantidades; algunos también contienen cloruros así como sulfatos. Varios de ellos ganan resistencia muy rápidamente y pueden ser usados a cualquier temperatura por encima del punto de congelación, pero muchos de ellos no son confiables cuando se exponen a la humedad y al clima por debajo de cero grados Celsius. Éstos también pueden causar daños por sulfatos en el concreto adyacente y corrosión al acero cercano.

#### **8.6 Materiales Bituminosos**

Los materiales bituminosos de parcheo tienen la ventaja de contar con alta disponibilidad, menores costos que otros materiales para bacheo y fácil aplicación; sin embargo, cuando son utilizados sin el debido cuidado no rinden los mismos resultados satisfactorios. Existen evidencias que indican que los parcheos bituminosos sin consolidar en losas de puente guardan agua y aceleran el deterioro del concreto adyacente.



Los parches bituminosos tienen su mejor aplicación en la reparación de pavimentos antes de colocar otras capas, en juntas con agrietamientos y en sobrecarpetas delgadas para corregir la baja resistencia al deslizamiento.

El concreto asfáltico de granulometría densa y mezclado en caliente se usa mucho para bacheo. Esas mezclas requieren de camiones con aislamiento térmico a menos que grandes cantidades sean usadas en una sola localización. Las superficies a reparar deben estar secas y con temperatura sobre los 5 grados Celsius y requieren un recubrimiento de asfalto líquido.

### **8.7 Otros materiales**

Los cementos minerales de otras clases también se han usado para hacer parches. Los cementos con un alto contenido de alumina han sido utilizados por algún tiempo en Europa y están disponibles en los Estados Unidos. Éstos son de aluminato monocálcico con otros aditivos no determinados. Tienen resistencia a los sulfatos y deben tenerse en cuenta donde hay posibilidad de corrosión del acero. Algunos ensayos en carreteras han denotado excesiva contracción; sin embargo, falta ver los resultados de otros ensayos.

El fosfato de magnesio es un material de parcheo relativamente nuevo. Una clase se vende en paquetes de dos componentes separados; la magnesia seca debe mezclarse con el fosfato líquido en pequeñas cantidades y ser trabajada rápidamente. Generalmente produce un parche de gran resistencia y baja permeabilidad con excelente adherencia a cualquier superficie que esté razonablemente limpia y seca. El agua afecta su endurecimiento, aún en pequeñas cantidades causa gran reducción de resistencia.

Existen otros materiales cuyos ensayos han sido más limitados y que tienen propiedades que parecen indicar que pueden usarse como materiales de bacheo en superficies de concreto.

## **8.8 Curado de parches**

La demanda de uso rápido de los pavimentos recién reparados generalmente produce negligencia o descuido en su curado. Pero el curado, al igual que la preparación adecuada de superficie, es imprescindible para una reparación correcta. Esto es cierto, aún para algunas mezclas de materiales cementantes con baja relación agua-cemento y buena consolidación que requieren un menor tiempo de curado.

## 9 ENSAYOS DE LABORATORIO

### 9.1 Prueba de impacto

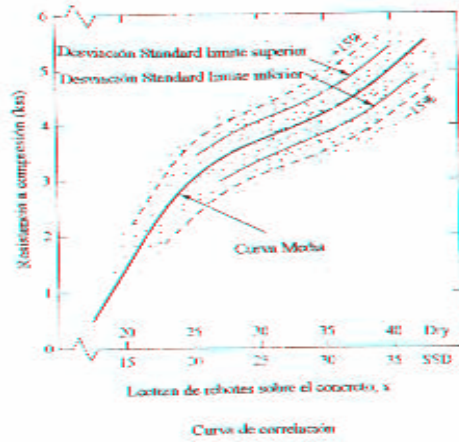
Éste es un ensayo no destructivo bastante común, debido a que es considerablemente sencillo de ejecutar, se basa en el número de rebotes que da un martillo Schmidt con punta acerada sobre una superficie de concreto endurecida. Este método está descrito detalladamente en la norma ASTM C805.

El método nos da un valor de resistencia a la compresión relacionando el número de rebotes sobre el concreto endurecido con la resistencia a obtener de la superficie de concreto, para lo cual se guía en una figura ya establecida.

Para el caso de un pavimento de concreto con fallas a temprana edad es un ensayo que nos puede mostrar si las grietas que pudieron haber aparecido sobre el pavimento no son resultado de una resistencia muy baja en el concreto, si éste fuera el caso podría ser más conveniente reemplazar completamente el área afectada.

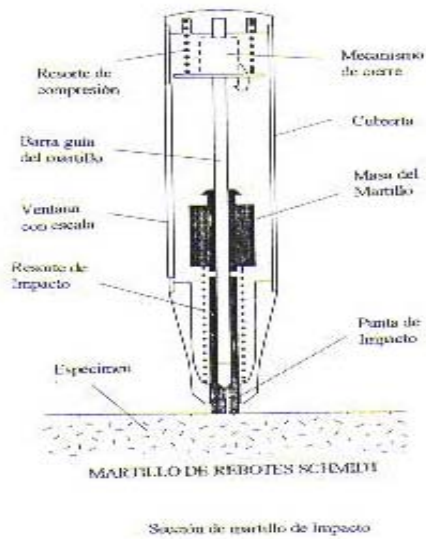
De lo contrario, se pueden considerar otro tipo de reparaciones, que pueden resultar de otro tipo de fallas que son determinadas en la mayoría de los casos con la inspección visual de un profesional con experiencia en fallas sobre el concreto.

Figura 7. Curva de correlación



Behavior of engineering materials, p.3-9

Figura 8. Martillo de rebotes Schmidt



Behavior of engineering materials, p.3-9

## 10 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El cálculo del costo de la sobrecarpeta de asfalto sobre el pavimento de concreto, con un espesor de la capa de rodadura de 2.65 pulgadas, que es igual a 7 cms., para un área de 1,160 metros cuadrados, tenemos los siguientes valores.

El costo del asfalto aplicado que incluye la limpieza con la barredora, la liga y la carpeta de rodadura para los 1,160 metros cuadrados a 7 cms. es de Q.425.00 por tonelada, para el área mencionada se necesitan un total de 200 toneladas, lo cual nos da un total de Q.85,000.00.

La imprimación con un MC-70 el cual tiene un rendimiento de 0.02 galones por metro cuadrado, por el área del pavimento a reparar se necesitan 24 galones a un costo de Q.319.00 por galón, para un total de Q.7,656.00.

El material de secante que en este caso es arena a 0.005 metros de espesor aproximado para el total del área es de 6 metros cúbicos estimado a Q.60.00 el metro cúbico para un total de Q.360.00.

El geotextil que sirve como material desligante con malla de 200 gramos por centímetro cuadrado, tiene un costo de \$.1.25 dólares equivalentes a Q.10.00 el metro cuadrado, siempre aplicado al área en mención nos da un total de Q.11,600.00.

El trabajo de supervisión a un valor de Q.333.33 diarios, por los tres días de duración del trabajo nos da Q.1,000.00.

MATERIAL		PRECIO TOTAL
Asfalto por tonelada aplicada	Q	85,000.00
Imprimación MC-70 por galón	Q	7,656.00
Material secante arena (0.005 mt)	Q	360.00
Geotextil para desligar (mt <sup>2</sup> )	Q	11,600.00
Supervisión	Q	1,000.00
TOTAL	Q	105, 616.00

El costo estimado por metro cuadrado de la sobrecarpeta de asfalto sobre el pavimento de concreto es de Q.91.05.

### **CÁLCULO DEL COSTO DE LA SOBRECARPETA CONCRETO SOBRE EL PAVIMENTO DE CONCRETO EXISTENTE**

Para el cálculo de costos de la sobrecarpeta de concreto sobre un pavimento de concreto debemos considerar los siguientes valores.

Para un área de 1,160 metros cuadrados con un espesor de 0.13 metros tenemos un volumen estimado de concreto de 151 metros cúbicos, los cuales deben colocarse en dos etapas, es decir dos días.

Para los trabajos de limpieza podemos estimar un valor de Q.4.00 por cada metro cuadrado de pavimento existente, para un total de Q.4,640.00

Para los trabajos de formateado, incluyendo el personal, tenemos Q.4.50 por cada metro cuadrado, para un total de Q.5,220.00.

El valor del concreto, que en este caso se estimó de 570 psi a la flexión o bien de 4,000 psi a la compresión es de Q.607.40 por metro cúbico, multiplicado por 151 metros cúbicos que es el total, tenemos Q.91,717.40.

El costo del personal de colocación del concreto por metro cuadrado es de Q.9.50, lo que suma un total de Q.11,020.00.

Para el curado necesitamos la cantidad de 387 litros de curador, que junto con la aplicación nos da un costo de Q.4.51 por metro cuadrado, para un total de Q.5,231.60.

Luego tenemos el trabajo de corte del pavimento con un estimado de Q.6.00 siempre por metro cuadrado, para un total de Q.6,960.00.

Por último tenemos el sello del pavimento, con espaciamiento de 3.00 metros en el sentido transversal del pavimento y de 2.50 metros en el sentido longitudinal, lo cual nos da un total de 589 metros lineales a un costo de Q.6.73 por cada metro lineal incluyendo material y mano de obra, para un valor total de Q.3,963.97.

El costo de la supervisión del trabajo, el cual se estimó que se realiza en tres días, es de Q.333.33 por día, lo cual suma Q.1,000.00.

A continuación se muestra el desglose de los gastos a efectuarse por cada inciso con su costo total.

Limpieza	Q	4,640.00
Formaleteado	Q	5,200.00
Concreto	Q	91,717.40
Colocación de concreto	Q	11,020.00
Curado	Q	5,231.60

Corte	Q	6,960.00
Sello	Q	3,963.97
Supervisión	Q	1,000.00
Total	Q	129,732.97

Este total dividido por los 1,160 metros cuadrados de pavimento, nos da un costo total de la reparación por metro cuadrado de Q.111.84.



## CONCLUSIONES

1. El proceso de ejecución de colocación de concreto para un pavimento es un proceso muy delicado, que requiere de una planificación adecuada y cuidadosa de todos los detalles que intervienen en este proceso, si no se toman en cuenta todas las necesidades se puede producir una falla a temprana edad.
2. Si el tipo de fallas consiste en grietas aisladas, el sellado de las grietas es la reparación que resulta la más adecuada.
3. Si el deterioro en el pavimento consiste en un mal acabado de la superficie de concreto o protuberancias, el problema es de tipo estético y un esmerilado o escarificado nos ayuda a mejorar el aspecto visual del pavimento.
4. Un mal diseño de juntas de concreto o bien su ejecución fuera de tiempo es una causa común de grietas en el pavimento a temprana edad, son del tipo largas y continuas.
5. Las grietas por falta de curado o curado tardío, son relativamente pequeñas y al azar, en este caso una sobrecarpeta o el reemplazo total del pavimento son las soluciones.
6. El espesor de la sobrecarpeta de concreto sobre el pavimento de concreto existente, nos da un valor que aunque es menor al espesor de la losa existente, se asemeja bastante al espesor existente, por lo que puede aplicarse solamente si el área afectada permite un incremento considerable del espesor total del pavimento o si la estructura no se va a ver afectada por el incremento de la carga total.

7. El resultado del espesor de la sobrecarpeta de asfalto sobre el pavimento de concreto, es considerablemente más pequeño al espesor de la losa existente por lo que puede usarse con mayor facilidad si el área no permite un incremento considerable del espesor total.
8. El costo total de la sobrecarpeta de asfalto es menor al costo total de la sobrecarpeta de concreto, para un mismo caso.
9. Se pudo apreciar que el caso en observación de la sobrecarpeta de asfalto sobre pavimento de concreto que se usó como reparación para un pavimento con grietas, en un municipio de Jutiapa, es un método que funciona ya que éste actualmente lleva 6 años de uso y puede considerarse que se encuentra en buen estado.

## RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia que el constructor ponga mucho cuidado en el trabajo de elaboración de las juntas del pavimento de concreto, así como en el curado de éste, ya que son dos de los errores que comúnmente se cometen y que producen fallas en los pavimentos a temprana edad y su reparación representa un alto costo económico.
2. Si se tiene duda que el concreto haya alcanzado la resistencia estimada, una prueba del número de rebotes sobre concreto endurecido con martillo de impacto nos puede dar un valor bastante acertado para encontrar la respuesta.
3. Si la decisión es colocar una sobrecarpeta de concreto, pero es necesario su uso en un tiempo corto, es recomendable utilizar un material de fraguado rápido.
4. Si se utiliza una sobrecarpeta de concreto, es mejor si se usa un concreto premezclado, en caso contrario se debe poner mucho cuidado en la selección de los materiales que se van a utilizar, preferiblemente piedra triturada, así como en el diseño de mezcla del concreto para evitar fallas por baja resistencia.
5. Si la decisión fue colocar una sobrecarpeta de asfalto, es recomendable desligar con un geotextil o bien con arena, para evitar que las grietas que se presentan en el pavimento de concreto existente se transmitan a la superficie de la sobrecarpeta de asfalto.
6. En el caso de la sobrecarpeta de concreto el corte de las juntas debe ir exactamente sobre el corte de la losa de pavimento existente y se recomienda hacer el cálculo como desligado



## BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN Society for Testings and Materials. **Annual books of ASTM standards.** EE.UU.: 1996.
2. BEHAVIOR of engineering materials. [www.tamuiuc.edu/courses/TAM224/Lab manual/09 nondestructive testing.pdf](http://www.tamuiuc.edu/courses/TAM224/Lab%20manual/09%20nondestructive%20testing.pdf)
3. HEADQUARTERS department of the army and the air force. [www.usacearmy.mil/inet/usace-docs/armytn/tm5-822-13/toc.pdf](http://www.usacearmy.mil/inet/usace-docs/armytn/tm5-822-13/toc.pdf)
4. INSTITUTO del asfalto. **Diseño de espesores, espesor total de estructuras de pavimento y asfalto para supercarreteras y calles.** EE.UU.: 1970. 80pp.
5. INSTITUTO Mexicano del Cemento y del Concreto. **Pavimentos de concreto.** México: 1995. 103 pp.
6. MERRIT, Frederick S. **Manual del ingeniero civil.** 3ra. Ed. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, 1992. 411 pp.
7. PACKARD, Robert G. **Slab thickness design for industrial concrete floors on grade** EE.UU.: 1976. 16pp.
8. SIKA. **Construction Products Catalog.** EE.UU.: 2001.
9. THE Aberdeen Group. **Reparación del concreto.** (Volumen 1) EE.UU.: 1994. 56 pp.
10. YODER, E.J. y M.W. Witzzak. **Principles of pavements design.** EE.UU.: 1975. 711 pp.



# ANEXO





Figura 9. California bearing ratio - CBR

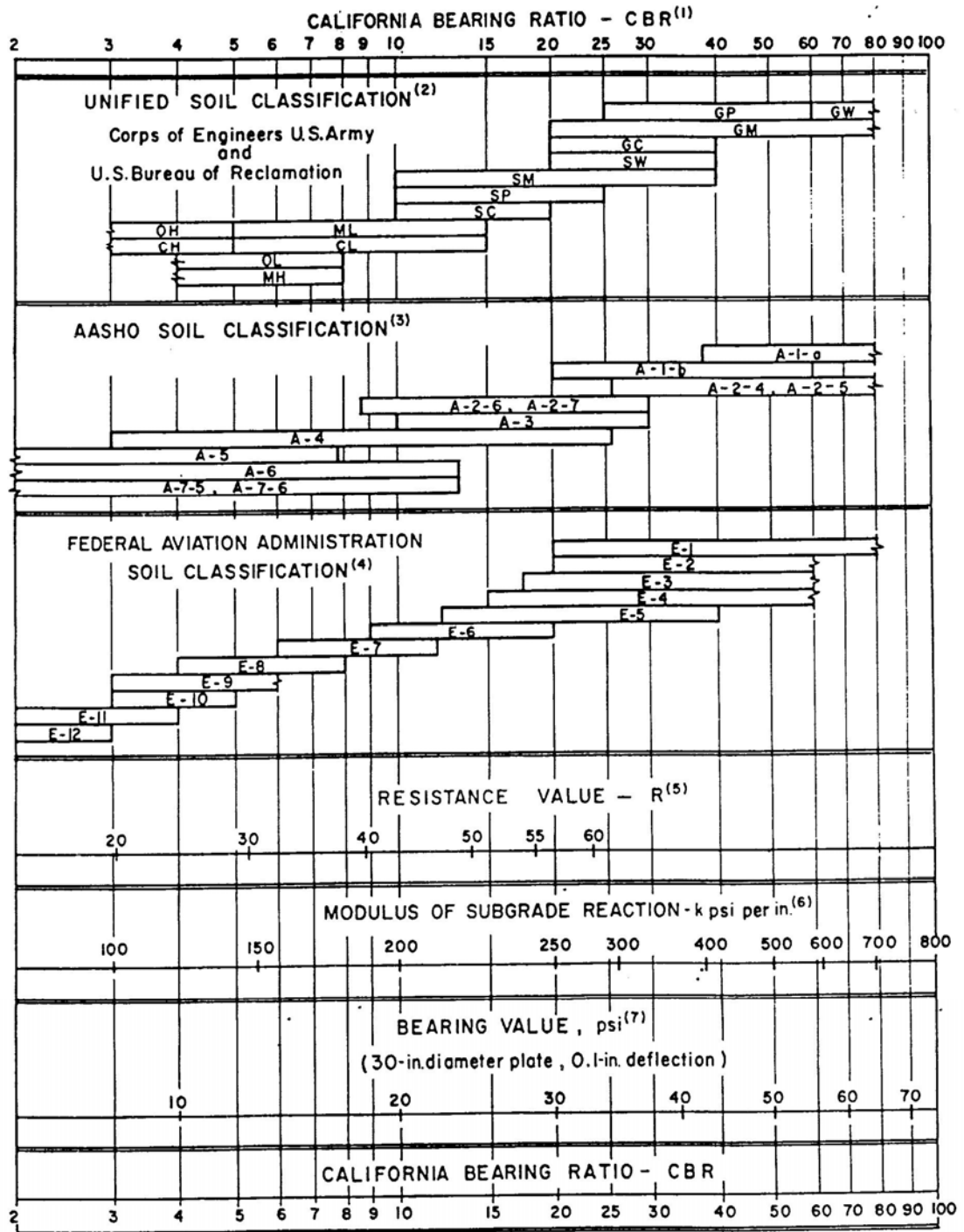


Figura 10. Pavimento con grietas



Figura 11. Pavimento con grietas 2.

