



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE
PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y
COMPACTADO CON RODILLO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A N :
JOSE ANTONIO BARRIOS PEREZ
LEOPOLDO ENRIQUE JIMENEZ GONZALEZ
OSCAR LUIS JIMENEZ GONZALEZ
JUAN JOSE OROZCO Y OROZCO

Director de Tesis: Ing. Miguel Morayta Martínez

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCION	1
I. PAVIMENTOS	5
I. 1. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS	5
I. 1. 1. TIPOS DE PAVIMENTOS	5
a) Pavimentos Flexibles	6
b) Pavimentos Rígidos	8
I. 1. 2. COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO	9
a) Terracerfa	9
b) Subbase	11
c) Base	12
d) Losas de concreto hidráulico	13
I. 2. CALIDAD DE LOS MATERIALES	14
I. 2. 1. CLASIFICACION DE SUELOS	14
I. 2. 2. TERRACERIA	16
I. 2. 3. SUBBASE Y BASE	16
I. 2. 4. ESTABILIZACION DE SUELOS	17
I. 2. 5. LOSA	19
II. PAVIMENTOS RIGIDOS CONVENCIONALES Y RODILLADOS ..	25
II. 1. DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ..	25
II. 1. 1. PAVIMENTOS DE CONCRETO CONVENCIONALES	26

II. 1. 2. PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADOS CON RODILLO	26
II. 2. DISEÑO SIMPLIFICADO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO	27
II. 2. 1. TRANSITO DE DISEÑO	28
II. 2. 2. LA SUBRASANTE	32
II. 2. 3. ESPESOR DE LAS CAPAS	34
II. 2. 4. JUNTAS	37
II. 2. 5. SUPERFICIE DE RODAMIENTO	43
II. 3. CONCRETO HIDRAULICO	45
II. 3. 1. MATERIALES	45
a) Agregados	46
b) Ligantes.	50
c) Aditivos.	52
II. 3. 2. DISEÑO DE LA MEZCLA	53
a) Consistencia de la mezcla.	53
b) Proporcionamiento	54
III. CONSTRUCCION	62
III. 1. EJECUCION	62
III. 1. 1. FABRICACION DEL CONCRETO	62
III. 1. 2. TRANSPORTE	67
III. 1. 3. CIMBRADO	68
III. 1. 4. COLOCACION	71
III. 1. 5. COMPACTACION	74
III. 1. 6. CURADO	80
III. 1. 7. JUNTAS	86
III. 1. 8. ACABADOS	98

III. 2. CONTROL DE CALIDAD	103
III. 2. 1. TRABAJABILIDAD	103
III. 2. 2. COMPACTACION	110
III. 2. 3. RESISTENCIA	110
IV. EVALUACION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS	117
IV. 1. EVALUACION DE PAVIMENTOS.	117
IV. 2. CONSERVACION DE PAVIMENTOS	122
IV. 2. 1. FALLAS TIPICAS Y SUS CAUSAS GENERALES	124
a) Deterioro del Concreto	125
b) Agrietamiento de la Losa	126
c) Rompimiento de la Losa	129
d) Alabeo de la Losa	131
e) Movimientos de las Losas	131
f) Despostillamiento de la Losa	133
g) Otras Fallas	133
IV. 2. 2. CONSERVACION Y REHABILITACION	135
a) Descarnaduras	137
b) Defectos en las Juntas.	139
c) Defectos Estructurales	144
IV. 2. 3. REFUERZO	156
V. CONCLUSIONES	165
BIBLIOGRAFIA	171

INTRODUCCION

En los últimos años se ha desarrollado la técnica del Concreto Compactado con Rodillo en varios países como España, Canadá y Japón entre otros con muy buenos resultados.

En el caso de pavimentos, la técnica del CCR no es totalmente nueva, de hecho es anterior al caso del Concreto Hidráulico Vibrado. El concreto ya se compactaba con el uso de rodillos en el último tercio del siglo pasado, sin embargo, a principios de siglo, se empezó a desarrollar el Concreto Hidráulico

Vibrado, debido a que se obtenían mejores resultados sobre todo en lo que a textura y acabado se refiere.

Hace aproximadamente dos décadas, en España se retomó la técnica del Concreto Compactado con Rodillo, obteniéndose muy buenos resultados. Gracias a los equipos modernos utilizados en la construcción de carreteras, como son las pavimentadoras y los compactadores de rodillo y neumáticos, pudieron mejorarse los acabados en los pavimentos, así como aumentar las resistencias.

Actualmente en México no ha tenido mucha difusión el CCR para la construcción de pavimentos, sin embargo en las pocas obras que se han hecho con esta técnica se han tenido excelentes resultados, por lo que en los últimos años, varias instituciones se han dedicado a estudiar a fondo este material.

En México se han tenido muy buenos resultados sobre todo en los pavimentos para circulación a bajas velocidades y con grandes cargas, como son los patios de almacenamiento de Puertos, plataformas de maniobras y calles. En otros países se han utilizado

para carreteras principales con altos volúmenes de tráfico y velocidades altas. Hasta ahora, no se ha podido resolver totalmente el problema de la textura superficial, por lo que ha sido necesario la colocación de una sobrecarpeta asfáltica para mejorar el rodamiento.

Aunque el procedimiento de construcción del CCR tiene algunas limitaciones, como se verá más adelante, las posibilidades de ahorro y superación de las dificultades iniciales es amplia y amerita el estudio y la construcción de tramos de prueba.

Los pavimentos de CCR, se construyen con los equipos tradicionalmente utilizados para la construcción de terracerías con pequeñas modificaciones, lo que se traduce en un menor uso de mano de obra y procedimientos de construcción más simples con respecto a los del Concreto Hidráulico Vibrado.

El objetivo de este trabajo, es hacer una comparación de los aspectos más importantes entre el CCR y el Concreto Vibrado para

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

el caso de pavimentos, esto a fin de ver claramente las ventajas que el CCR tiene sobre el Concreto Vibrado, así como sus desventajas.

CAPITULO I

PAVIMENTOS

I.1 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS

I.1.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

La función de un pavimento es proporcionar al usuario una superficie adecuada para fines de transporte a través de vehículos automotores. Para ésto, el pavimento debe estar formado por una capa o conjunto de capas contenidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento. Estas capas deben tener la capacidad

necesaria para soportar las cargas generadas por los vehículos y transmitirlas a las terracerías, distribuyéndolas de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en dichas capas.

Desde hace muchas décadas se han hecho intentos de clasificar los diferentes pavimentos. Se usa para ello, la forma en que los pavimentos distribuyen a la subrasante la carga recibida. En base a ello se dividen en:

a) Pavimentos Flexibles

En éstos, la superficie de rodamiento es proporcionada por una carpeta asfáltica, y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores hasta dejar a la subrasante una pequeña carga de acuerdo a su capacidad soportante, se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales, y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase las cuales se construyen sobre la

capa subrasante, estas capas son de material de menor módulo de elasticidad que la carpeta.

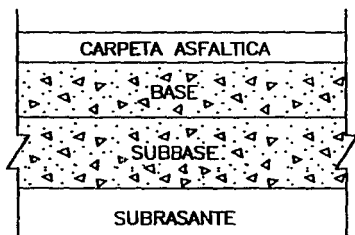


Fig. 1.1 Capas que forman un pavimento flexible.

Actualmente, con el gran volumen de tránsito y las fuertes cargas por eje, algunos pavimentos flexibles requieren gruesas capas muy resistentes, que tienen un comportamiento muy rígido que no está de acuerdo con el criterio flexible original.

Al momento de analizar un pavimento, no sólo hay que poner atención en su resistencia, sino que también hay que cuidar que no sean demasiado deformables, ya que éstos, pueden llegar a fallar por fatiga sin llegar a su esfuerzo máximo, antes de terminar su vida útil.

b) Pavimentos Rígidos

Son aquellos que cuentan con una losa de concreto hidráulico de cemento Portland, muy rígida y resistente en su parte superior, que distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas, tienden a absorber la carga recibida repartiéndola en una amplia área de la subrasante. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario la construcción de una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la

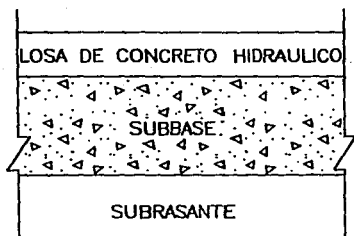


Fig. 1.2 Capas que forman un pavimento rígido.

superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulico y la subbase, que se construyen sobre la capa subrasante.

1.1.2 COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO

a) Terracería

Las terracerías son los volúmenes de materiales que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre. Las terracerías generalmente comprenden dos zonas: el cuerpo del terraplén que es la parte inferior y la capa subrasante que se coloca sobre la anterior.

-Cuerpo del terraplén: la finalidad de esta parte es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, resistir las cargas de tránsito transferidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor, para transmitirlos en forma adecuada al terreno natural.

-Capa subrasante: Es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo de terraplén y el pavimento. Cuando el material del terreno natural es de buena calidad, la terracería únicamente se conforma y se le da una buena compactación, usándose como capa subrasante. Muchas veces se utiliza para esta capa el mismo material de terracería, distinguiéndose de ésta sólo por un mejor tratamiento de compactación. Si el material de terracería no es bueno, resulta más económico buscar un buen material.

Es muy importante que el nivel de aguas freáticas esté cuando menos a 50 cm abajo de la subrasante. Esto se consigue drenando el subsuelo o terraplenando para elevar la subrasante.

Las principales funciones de la subrasante son:

- Recibir y resistir las cargas de tránsito que les son transmitidas por el pavimento.
- Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

-Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca y evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.

b) Subbase

La subbase para un pavimento rígido es una capa de un espesor mínimo de 15 cm, que se coloca inmediatamente debajo de la base y arriba de la subrasante.

Tiene alguna o todas las siguientes funciones:

- Proporcionar un soporte uniforme, estable y permanente para el pavimento.
- Prevenir o reducir los daños producidos por la acción de heladas.
- Prevenir la migración de finos de las terracerías y subrasante hacia la base.

c) Base

Es una capa constituida con material granular o friccionante seleccionado, de graduación más gruesa que la de la subbase.

Quando el material del que se puede disponer no cuenta con la calidad requerida, suele mejorarse con aditivos tales como el cemento, puzolanas, sulfato de calcio, cal o asfalto. La estabilización se emplea de acuerdo al tipo de suelo que se tenga en el lugar, su uso se explicará más adelante.

Función de la base:

- La primera y la más importante, es la de soportar las cargas que le transmite la carpeta y aminorar los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de manera tal, que lleguen a las capas subyacentes con una intensidad que éstas puedan resistir.
- Debe proporcionar al pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas evitando así la falla por fatiga.

-Tienen también objetivos económicos, pues al aumentar el espesor de la base, se pueden reducir espesores en la carpeta, lo que se traduce en un ahorro bastante considerable.

-Otra función de la base es la de drenar el agua que se infiltre por la carpeta e impedir la ascensión capilar del agua natural.

d) Losas de concreto hidráulico

En los pavimentos rígidos, la capa superior esta formada por losas de concreto hidráulico. Estas losas cumplen una doble función, esto es, a la vez que su comportamiento estructural es fundamental en el pavimento, cumple también con las funciones propias de una carpeta.

Las funciones de la carpeta son:

-Proporcionar una superficie de rodamiento con una textura adecuada y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

- Impedir el paso del agua a las demás capas que forman el pavimento, y drenarla hacia los lados del pavimento.
- Soportar y transmitir en forma conveniente los efectos producidos por el tránsito de los vehículos sin deformaciones excesivas.
- Servir como superficie antirreflejante, para no dificultar la visibilidad del usuario.

I.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES

I.2.1 CLASIFICACION DE SUELOS

En la naturaleza, los suelos rara vez existen separadamente como grava, arena, limo, arcilla o materia orgánica, sino que generalmente se encuentran en forma de mezclas con proporciones variables. El Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos se basa en el reconocimiento de tipo y predominio de los constituyentes, considerando tamaños de grano, graduación plasticidad y compresibilidad. Esta clasificación divide a los suelos en tres grupos principales: suelos gruesos, suelos finos y suelos de alto contenido de materia orgánica.

1) **Suelos con partículas gruesas.**- son aquellos en los que mas de la mitad del material se retiene en la malla No. 200. Estos a su vez se subdividen en:

-**Gravas:** cuando más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla No. 4.

-**Arenas:** cuando más de la mitad de la fracción gruesa del material pasa la malla No. 4.

2) **Suelos finos.**- son aquellos en los que más de la mitad del material pasa la malla No. 200. Estos se subdividen en:

-**Limos:** son los finos no plásticos, son inherentemente inestables en presencia de agua y tienen la tendencia a ponerse en suspensión cuando se saturan.

-**Arcillas:** son los finos plásticos, tienen baja resistencia a la deformación cuando están húmedas, pero al secarse forman masas cohesivas y duras.

3) **Suelos finos orgánicos.**- son fácilmente identificables por su color oscuro, olor a materia orgánica, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

UNIDAD DE CLASIFICACION	DEFINICION	ABREVIATURA	REPRESENTACION SIMBOLO	INFORMACION ADICIONAL PARA LA DETERMINACION DE LOS SUJECOS	NOTAS ADICIONALES	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
CLASIFICACION DE SUELOS EN EL CAMPO (Determinacion basada en la observacion directa en el campo)	CLASIFICACION DE SUELOS EN EL LABORATORIO (Determinacion basada en analisis de laboratorio)	CLASIFICACION DE SUELOS EN EL CAMPO (Determinacion basada en la observacion directa en el campo)	CLASIFICACION DE SUELOS EN EL LABORATORIO (Determinacion basada en analisis de laboratorio)				
SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Menos de 60% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Menos de 60% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Menos de 60% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Menos de 60% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	GW	Grosos bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	GW	Grosos bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				GP	Grosos bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	GP	Grosos bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				GM	Grosos medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	GM	Grosos medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				GC	Grosos medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	GC	Grosos medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				SW	Medios bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	SW	Medios bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				SP	Medios bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	SP	Medios bien graduados, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				SM	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	SM	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				SC	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	SC	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				ML	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	ML	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				CL	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	CL	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				OL	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	OL	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
SUELOS DE PARTICULAS MEDIANAS (Entre 60% y 30% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	SUELOS DE PARTICULAS MEDIANAS (Entre 60% y 30% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	SUELOS DE PARTICULAS MEDIANAS (Entre 60% y 30% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	SUELOS DE PARTICULAS MEDIANAS (Entre 60% y 30% de arena, mayor de 2% de limon y mayor de 0.075 mm de arcilla)	MH	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	MH	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				CH	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	CH	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				OH	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	OH	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.
				PL	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.	PL	Medios medianos, mayor de 60% de arena y mayor de 10% de limon y mayor de 2% de arcilla.

Este sistema unificado de clasificación de suelos se basa en la experiencia acumulada de los ingenieros de suelos y geólogos durante los últimos 50 años. El objetivo principal de este sistema es proporcionar un lenguaje común para la descripción y clasificación de los suelos, tanto en el campo como en el laboratorio. El sistema está diseñado para ser flexible y adaptable a las necesidades de diferentes disciplinas y regiones.

Los suelos se clasifican en función de su composición granulométrica, su plasticidad y su contenido de arcilla. El sistema incluye una serie de códigos de clasificación que permiten describir un suelo de manera concisa y estandarizada. Por ejemplo, un suelo de tipo GW (Grosos bien graduados) se caracteriza por tener más del 60% de arena y más del 10% de limon.

El sistema unificado de clasificación de suelos es una herramienta esencial para los ingenieros de suelos, los geólogos, los agrónomos y los científicos ambientales. Proporciona una base común para la comunicación y el intercambio de información sobre los suelos y sus propiedades.

I.2.2 TERRACERIA

Los materiales para terraplén pueden ser desde fragmentos de roca menores a un metro, hasta suelos finos con límite líquido menor a 100%. No se aceptan en ningún caso suelos orgánicos. Es recomendable que ninguna partícula o fragmento de roca sea mayor que la tercera parte del espesor de la capa en que se coloque, especialmente en las capas más superficiales.

El grado de compactación que se acostumbra exigir en esta capa es de 90% mínimo del peso específico seco máximo determinado en la prueba AASHTO estándar.

I.2.3 SUBBASE Y BASE

Están constituidas por materiales cuya clasificación SUCS sea GW (gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos) o SW (arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos) y con una compactación de 100% mínimo de su peso específico seco máximo determinado en la prueba AASHTO modificada. El espesor mínimo de la subbase es de 15 cm.

El material debe estar bien graduado. Del material que pase la malla No. 10 no más del 25% debe pasar la malla No. 200. El porcentaje de material que pase la malla No. 200 no deberá ser más del 10% del total.

La porción del material que pasa la malla No. 40 debe tener un límite líquido máximo de 25% y un índice de plasticidad del 6%.

I.2.4 ESTABILIZACION DE SUELOS

Como el nombre lo indica, con este recurso se pretende hacer más estable, resistente o rígido a un suelo. La primera y la que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, es la de aumentar la densidad de un suelo, compactándolo mecánicamente. La segunda estabilización usada es la de mezclar a un material de granulometría gruesa, con otro que carece de esa característica. Finalmente, está el recurso de estabilizar un suelo, mezclándole cemento Portland, cal hidratada, asfalto o cloruro de sodio. El uso de la cal está limitado a suelos que contengan minerales arcillosos, con los cuales se pueda hacer la acción que lentamente va cementando las partículas del suelo. La utilidad de la cal es para

aquellos casos en los que no se necesite pronta resistencia. Este aglomerante es muy adecuado para bajar la plasticidad de los suelos arcillosos o para contrarrestar el alto contenido de humedad en terracerías o en bases y subbases, siempre que éstas no sean muy arenosas.

Se debe recordar que la estabilización es un asunto económico. Hay casos en los que es mejor y más barato recurrir a un mejoramiento del suelo del lugar, que transportar otro material desde grandes distancias.

Los siguientes casos pueden justificar una estabilización:

- a) Materiales para base o subbase en el límite de especificaciones.
- b) Condiciones de humedad desfavorables.
- c) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.

- d) En repavimentación, aprovechando los materiales existentes.

1.2.5 LOSA

a) **Cementos:** Generalmente se utilizan cementos Portland Tipo I o Portland Puzolana Tipo II, en cuyo caso se debe poner atención adecuada a los efectos de una ganancia lenta de resistencia y de un menor calor de hidratación, tanto en el proporcionamiento del concreto como en las prácticas constructivas.

Se deben proveer medios adecuados para almacenar y proteger al cemento de la humedad, teniendo que rechazarse el cemento que por cualquier razón se haya endurecido parcialmente o que contenga terrones.

b) **Agregados:** La importancia de utilizar el tipo y calidad adecuados de agregados, no se debe subestimar pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente del 70% al 80% del volumen de concreto y del 80% al 85% en peso, e influye notablemente en las propiedades del concreto, tanto recién mezclado como

endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. En esto radica la necesidad de la presencia del laboratorio para el diseño de la mezcla.

Existen dos características de los agregados que tienen una influencia importante sobre el proporcionamiento de las mezclas del concreto, porque afectan la trabajabilidad del concreto fresco. Estas son: el tamaño de partículas, su distribución, y la naturaleza de las mismas (forma, porosidad, textura superficial, densidad, etc.).

El tamaño es un factor importante para lograr una mezcla económica, porque afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que puede llegar hasta 5 mm de diámetro; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas pueden variar hasta 50 mm. El tamaño máximo del

agregado que se emplea comúnmente para los pavimentos varía de 19 a 50 mm, siendo el de 38 mm el que mejor se presta para mezclas manejables y a la vez económicas en la construcción de los pavimentos.

Los agregados deben ser manejados y almacenados de tal forma que la segregación y la degradación sean mínimas y que se evite la contaminación del agregado con sustancias dañinas.

1) **Finos (arena):** Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada, la mayoría de sus partículas son menores que 5 mm.

El agregado fino debe estar libre de toda contaminación por materia orgánica y arcillas.

2) **Gruesos (grava):** Los agregados gruesos consisten en gravas naturales o trituradas o una combinación de ellas, cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 19 y 50 mm de tamaño máximo. El agregado grueso debe estar libre de toda contaminación por materia orgánica y arcillas.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. La cantidad necesaria de cemento disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo de agregado grueso.

Los agregados gruesos deben tener el máximo tamaño práctico que las condiciones de trabajo específicas permitan.

Para las losas de pavimento sin refuerzo, el tamaño máximo no debe rebasar un tercio del espesor de la losa. Se recomienda usar en los pavimentos un tamaño máximo de 38 mm.

c) **Agua:** el agua que se usa para las mezclas y el curado debe ser agua limpia con calidad de potable, libre de impurezas como: sales, aceites, ácidos, azúcares, agentes alcalinos, materia vegetal o cualquier otra sustancia que perjudique el acabado final del producto.

Algunas de las ventajas de utilizar menor cantidad de agua en la mezcla son:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mayor adhesión entre capas sucesivas y entre el concreto y el refuerzo, en caso de que éste exista.
- Se presenta menor cambio volumétrico causado por humedecimiento y secado.
- Se reducen las tendencias de agrietamiento por fraguado.

Entre menos agua se utilice, como en el caso del concreto compactado con rodillo, se tendrá una mejor calidad del concreto, a condición que se pueda compactar adecuadamente. Menores cantidades de agua resultan en mezclas más rígidas; pero con

concreto compactado con rodillo, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la compactación del concreto CCR permite una mejoría en la calidad del concreto y en la economía.

CAPITULO II

PAVIMENTOS RIGIDOS CONVEN- CIONALES Y RODILLADOS

II.1 DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Los pavimentos de concreto hidráulico se pueden separar en dos grandes grupos en función de la forma en que son compactados, estos son por una parte los que se compactan por medio de vibradores de inmersión y los que son compactados con rodillos.

II.1.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO CONVEN- CIONALES

A este tipo de pavimentos también se les conoce con el nombre de “*vibrados*” debido a que son compactados usando vibradores de inmersión para darle la densidad adecuada.

Dentro de este grupo se encuentran los pavimentos de concreto simple, los que cuentan con pasadores en las juntas y los de armado continuo. Sin embargo, para efectos de esta tesis se analizarán únicamente los pavimentos de concreto hidráulico simple.

II.1.2 PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADOS CON RODILLO

Estos también son conocidos como pavimentos de CCR o rodillados. La consistencia del CCR es mucho más rígida que la de los concretos vibrados, por lo que su compactación se hace mediante el uso de equipos que tradicionalmente se han usado para la compactación de suelos o de pavimentos de concreto asfáltico,

como son los rodillos lisos vibratorios o los compactadores de neumáticos.

La Instrucción española de Secciones de Firmes de Autovías define el CCR como una mezcla homogénea de áridos, agua y conglomerante, que se pone en obra de forma análoga a una grava-cemento, aunque su contenido de cemento es similar al de un pavimento de hormigón vibrado.

Este tipo de pavimento tiene algunas ventajas sobre los tradicionalmente compactados, como se verá a lo largo de los siguientes capítulos.

II.2 DISEÑO SIMPLIFICADO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

En la actualidad existen varios métodos para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, como pueden ser los de la Portland Cement Association (PCA), o la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), sin

embargo, para efectos de ésta tesis, se tomará como base de diseño el método utilizado por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España, y tomando en cuenta las indicaciones descritas en el "Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Hormigón Compactado".

El método español toma en cuenta como factores fundamentales de dimensionamiento, el tráfico pesado y la calidad de la subrasante, ya que éstos son los que más afectan el comportamiento de los pavimentos. Esto indica que es necesario medir el tráfico pesado que ha de resistir el pavimento y la capacidad de soporte de la subrasante como antecedentes al diseño del pavimento.

II.2.1 TRANSITO DE DISEÑO

El método da las reglas sobre el período y el carril de proyecto, estableciendo finalmente unas categorías de tráfico pesado para el dimensionamiento de los pavimentos.

En general el espesor del pavimento es uniforme a lo ancho de todos los carriles, aunque no lo sea así la solicitud del tránsito. En este caso se considera que el carril de diseño es aquél por el que circula mayor número de vehículos pesados, ya que éstos son los determinantes en el dimensionamiento del pavimento.

Cuando hay dos o más carriles por sentido, existe la posibilidad de estudiar por separado los carriles y llegar a una sección transversal con capas de pavimento de espesores variables linealmente.

Todos los pavimentos se proyectan para un tránsito previsto en un lapso determinado conocido como período de servicio o vida útil. Puede decirse que la vida útil es el período de tiempo durante el cual se espera que las fallas producidas por el tránsito sobre el pavimento a proyectar, no alcance un nivel tal que las características de comodidad y seguridad del usuario se afecten de tal forma que lleguen a ser intolerables. Dicho en otras palabras, se espera que durante la vida útil no sea necesario un refuerzo de cierta consideración, es decir, más allá de los supuestos por la conservación.

Mientras que para los pavimentos flexibles se considera una vida útil de no más de 20 años, en los pavimentos rígidos es en cambio de 30 años, aunque es posible que este período de servicio se alargue aún más debido a la gran durabilidad de este tipo de pavimentos y la insignificante repercusión que tendría un plazo menor en el espesor del pavimento.

Como ya se mencionó, para efectos de proyecto, solo se consideran los vehículos pesados. La estructura del pavimento es función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se estima para el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. En el caso de México este concepto se conoce como Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).

En las normas españolas, la sollicitación del tráfico se define por el número acumulado de ejes equivalentes de 13 Ton esperados en el carril de diseño y durante su vida útil. Este parámetro es utilizado por muchos métodos modernos de dimensionamiento de pavimentos, aunque con un eje patrón de peso inferior a las 13 Ton, que es el máximo admitido en España, como en el caso de México donde el máximo es de 10 Ton.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

La IMD_p inicial se estima a partir de los aforos existentes y de los datos disponibles para prever su crecimiento, especialmente del tráfico inducido y generado después de la puesta en servicio, que puede llegar a cambiar la categoría de tráfico pesado.

Si no se dispone de datos concretos sobre la asignación por carriles, se admite lo siguiente:

TIPO DE CALZADA	VEHICULOS PESADOS SOBRE EL CARRIL DE DISEÑO
2 carriles y doble sentido de circulación	50 %
2 carriles y un solo sentido de circulación	100 %
3 o mas carriles y un solo sentido de circulación	80 %

Categorías de tráfico.

Estimada la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMD_p) en el carril de diseño y durante la vida útil, se establecen

5 categorías de tránsito pesado (Tabla II.1), definiendo unos intervalos que suponen un salto pequeño en el espesor de pavimento necesario.

CATEGORIAS DE TRAFICO PESADO	IMDp
T0	$IMDp \geq 2000$
T1	$2000 > IMDp \geq 800$
T2	$800 > IMDp \geq 200$
T3	$200 > IMDp \geq 50$
T4	$IMDp < 50$

Tabla II.1 Categorías de tráfico pesado.

Los pavimentos para autopistas se proyectan como mínimo para la categoría T1, es decir que la IMDp inicial mínima considerada es de 800 vehículos pesados en cada sentido.

II.2.2 LA SUBRASANTE

La subrasante o “explanada”, como se le conoce en España, se clasifica según su capacidad de soporte medida mediante la prueba de CBR.

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO

Se establecen 3 categorías de subrasante de capacidad de soporte creciente:

E1	$5 \leq \text{CBR} < 10$
E2	$10 \leq \text{CBR} < 20$
E3	$20 \leq \text{CBR}$

Tabla II.2 *Categorías de subrasante*

La categoría E1 corresponde a las subrasantes de baja calidad, como por ejemplo, en terracerías con un valor CBR bajo con coronación de suelo adecuado. Este tipo de subrasante no se admite para carreteras importantes con tráfico pesado intenso.

En la creación de las normas españolas, se aplicó el método CBR original para el cálculo de espesores de pavimentos en el caso de un terraplén formado por un núcleo y una capa de coronación de diferentes valores de CBR, obteniéndose el espesor de material necesario sobre cada zona del terraplén para un tráfico dado. Por diferencia se calculó el espesor de la capa de coronación, con un valor CBR dado, para el CBR del núcleo.

Los espesores así hallados se toman como valores mínimos exigidos en la clasificación para cortes. En cambio para los terraplenes y pedraplenes se mantuvo el espesor tradicional de 50 cm de coronación. El diferente tratamiento que se le da a los terraplenes y a los cortes es debido a la mayor repercusión económica que tendría el criterio citado en cortes, al obligar a una mayor excavación y sustitución de materiales.

En secciones en balcón se adopta para el corte la misma solución que para el terraplén.

II.2.3 ESPESOR DE LAS CAPAS

Con todo lo anterior se llega a una tabla simplificada para el dimensionamiento de los pavimentos (ver figura II.1).

Los ingenieros españoles consideran que una clasificación de la subrasante más tradicional en los pavimentos rígidos basada, por ejemplo, en el módulo de reacción K, no mejoraría el diseño del pavimento y complicaría el trabajo del proyectista, en particular al

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

estudiar soluciones equivalentes de pavimentos rígidos y flexibles.
Por ello la explanada tiene la misma consideración en ambos tipos
de pavimentos.

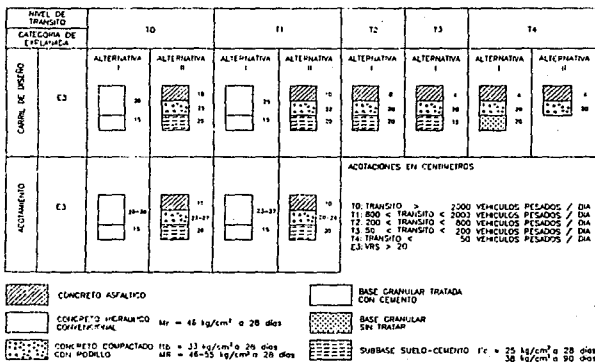


Fig. II.1 Secciones estructurales de pavimento*

Es importante señalar que los espesores indicados son los mínimos en cualquier punto del carril del proyecto, por lo que el espesor medio debe ser necesariamente entre 1 y 2 cm mayor.

*Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España

La experiencia en España y en otros países como Estados Unidos y Canadá, indica que el comportamiento de los pavimentos de CCR es por lo menos igual al de los construidos con concreto convencional.

Como se ha observado, el diseño de pavimentos de CCR se realiza con las mismas técnicas que se utilizan en los pavimentos de concreto vibrado, siempre y cuando no se considere una capa de rodamiento en la superficie expuesta del CCR.

Estas hipótesis pueden considerarse válidas ya que ambos materiales tienen propiedades mecánicas muy similares. Pero cuando se quiere asegurar una superficie de rodamiento de mayor calidad, se emplea una carpeta de concreto asfáltico, por lo que una reducción del espesor del CCR puede considerarse válida.

Las secciones estructurales de la figura II.1 fueron comprobadas por los métodos de dimensionamiento usuales (como el PCA y AASHTO) y cotejadas con otros catálogos europeos (Alemania, Francia, Inglaterra) para asegurar que eran

adecuadas. De todos modos es conveniente señalar que estos cálculos no pueden ser más que aproximados debido a las diferentes variables que utiliza cada método. Comparese por ejemplo, la resistencia característica a la flexotracción del concreto con cargas a un tercio del claro, con la resistencia media a flexotracción con carga central; o las explanadas definidas por las normas españolas, con las definidas por un módulo de reacción K; o bien la importancia de la distribución de cargas por eje en un método basado en la no fisuración del pavimento por fatiga (PCA), respecto a otro método de tipo empírico que evalúa el pavimento por la satisfacción del usuario (AASHTO).

II.2.4 JUNTAS

El diseño de las juntas tiene por objeto forzar la formación de grietas sobre ellas, evitando así que estas grietas aparezcan en forma aleatoria. Sin embargo, las juntas de construcción, tienen otra finalidad como se explicará más adelante.

Podemos distinguir entre dos grandes grupos de juntas, estas son las longitudinales y las transversales.

Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales son las que se fabrican paralelas a la línea de centros del camino, o en el sentido de la pavimentación. Se disponen generalmente entre carriles de circulación y pueden ser de alabeo o de construcción.

Las juntas longitudinales de alabeo se disponen siempre que el ancho del colado sea superior a los 5 m, dividiendo a las losas en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que coincidan con el área de mayor rodada.

Las juntas longitudinales de construcción son las resultantes entre el colado de dos bandas contiguas. Estas pueden ser a tope, de ranura o machihembrada. Esta última es la recomendada para carreteras con un tránsito pesado correspondiente a las categorías T0, T1 y T2, descritas en el punto II.2.1 de este capítulo.

Juntas Transversales

Este tipo de juntas es el que se dispone en el sentido transversal a la línea de centros del camino. Estas pueden ser de contracción, dilatación o de construcción.

Como ya se mencionó, las juntas transversales de contracción, se fabrican para inducir grietas en un lugar predestinado. Estas grietas son las que se forman por los efectos de contracción del concreto debido a los cambios de temperatura a los que es sometido. Aunque estas juntas se pueden realizar en fresco, es más frecuente su fabricación por aserrado del concreto ya endurecido, sobre todo para las categorías de tránsito T0, T1, y T2 definidas en el inciso anterior. Su fabricación en fresco es todavía más difícil que en el caso de las juntas longitudinales de alabeo, ya que todos los vehículos que transitan por el camino, necesariamente pasan por las juntas.

Resulta conveniente que las juntas transversales de contracción se diseñen sesgadas con una inclinación de 6 : 1 con

respecto al eje del camino, de tal forma que las ruedas de la izquierda de cada eje atraviesen las juntas antes que las ruedas de la derecha o viceversa. En otros países como México, estas juntas se construyen sin ninguna inclinación.

Se recomienda que en pavimentos de concreto vibrado, la separación entre estas juntas no sea mayor a 4 m.

Las juntas transversales de dilatación o expansión, se construyen para evitar la inducción de esfuerzos adicionales en las losas provocadas por la dilatación del concreto sometido a cambios de temperatura. Estas juntas, antes muy frecuentes, han ido cayendo en desuso en algunos países, debido a su mal comportamiento, Solo se disponen en los sitios donde resultan realmente indispensables, tales como en curvas con un radio menor a 200 m, antes y después de obras de paso que no puedan soportar empujes apreciables, en algunas intersecciones, etc. Para efectos prácticos, el ancho máximo de separación de la junta se limita a 25 mm, siendo el ancho usual de aproximadamente 19 mm. Para proporcionar más de 25 mm de expansión en condiciones especiales, tales como puentes y cruceros de ferrocarril, donde es

deseable limitar los esfuerzos de compresión dentro de valores permisibles, se recomienda que se instalen dos o tres juntas de expansión de ancho estándar en intervalos de 6 m. Esto se aplica únicamente cuando las juntas de expansión se omiten en otra parte del pavimento.

Las juntas de construcción son aquellas formadas por la suspensión prolongada del colado del concreto, como al final de cada jornada de trabajo, fallas en el equipo o algún retraso en el suministro de los materiales.

Todos los tipos de juntas descritos anteriormente están presentes en los pavimentos de concreto vibrado.

La mayoría de los primeros pavimentos de CCR se construyeron sin juntas, permitiendo que se fisuraran libremente. Las grietas resultantes eran en muchas ocasiones demasiado anchas para obtener una transmisión de cargas efectiva en las mismas. Por ello se observa una tendencia general a colocar juntas transversales, con separaciones que oscilan normalmente entre 5 y

8 m, a fin de obtener aberturas no mayores a 1 mm. No obstante hay que mencionar al respecto, que a través de mediciones realizadas en algunos tramos de ensayo, se ha podido observar un fuerte rozamiento entre las losas y la subbase, originado por el proceso de compactación. Como consecuencia, las variaciones en el ancho de las juntas son en general menores que las de los pavimentos de concreto vibrado con la misma separación entre ellas.

Esta tendencia ha sido considerada por las normas españolas, que obligan a colocar las juntas a una distancia máxima de 7 m con la misma inclinación de 1 : 6 con respecto al eje del camino. Dado que en muchas ocasiones el CCR cuenta con una capa bituminosa como superficie de rodamiento, a la ventaja ya mencionada de una mejor transmisión de cargas pueden unirse las siguientes:

-Para evitar que las juntas se manifiesten en la superficie, dado que su ubicación es conocida, es posible utilizar algún método a base de geotextiles u otros sistemas usados en pavimentos asfálticos con dicho fin, pero disponiéndolos en forma de tiras angostas a lo largo de dichas juntas, con lo que se tiene

un ahorro con respecto a la solución de tener que poner una capa continua al no estar localizada perfectamente la grieta. Otra alternativa consiste en hacer las juntas en fresco a distancias cercanas, de tal forma que su movimiento sea reducido y no provoque su reflexión en la carpeta asfáltica.

-Si la junta llega a reflejarse en la carpeta asfáltica, su durabilidad será probablemente superior a la de una grieta espontánea con bordes totalmente irregulares.

En los casos donde no se fabrican las juntas, se observa que éstas aparecen con una separación que oscila entre 7 y 15 m entre ellas, con aberturas también muy variables, que van desde uno a varios mm, correspondiendo las mayores, como es lógico, a las distancias más largas.

II.2.5 SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Por lo regular, los pavimentos de concreto vibrado, tienen una superficie lo suficientemente uniforme para admitir velocidades relativamente altas. Esto es debido a la consistencia del concreto y a la alta cantidad de agua en la mezcla, lo que

permite que haya el suficiente sangrado superficial para que quede una superficie lisa.

En este tipo de pavimentos, únicamente se pasa un cepillo metálico para conseguir una textura antiderrapante.

Al contrario del concreto vibrado, hasta el momento el CCR ha tenido algunas dificultades en lo referente al terminado de la superficie. Al ser el CCR una mezcla prácticamente seca, no hay sangrado por lo que la textura resultante después de la compactación es un poco más abierta. Otro problema que se presenta en la superficie del CCR es el de presentar pequeñas ondulaciones provocadas por el paso de los rodillos vibratorios, lo cual se disminuye al precompactar la mezcla durante el tendido, con la ayuda de la máquina extendedora, que puede llegar a proporcionar del orden del 90 % de la compactación necesaria.

En pavimentos donde se presenta una baja velocidad de operación, como puede ser el caso de patios de maniobras y almacenaje en puertos, bodegas con tránsito pesado o en

fraccionamientos, donde la velocidad es del orden de los 40 km/h, la textura resultante del CCR no es un problema grave, por lo que sólo se le da un tratamiento de enrasado mecánico.

Sin embargo, para caminos con una velocidad de operación mayor, el CCR se cubre con una capa de concreto asfáltico de 4 a 10 cm de espesor, para así proporcionarle las características de uniformidad necesaria. Esta capa a la vez le da al pavimento una textura antiderrapante.

Se espera que con el perfeccionamiento de esta técnica y de los equipos de construcción, en el futuro se pueda obtener una superficie de CCR lo suficientemente uniforme para evitar la sobrecarpeta de concreto asfáltico.

II.3 CONCRETO HIDRAULICO

II.3.1 MATERIALES

Las normas de calidad de los agregados pétreos en cuanto a su composición química, reacción con el cemento y durabilidad,

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

tienen las mismas especificaciones en el concreto compactado con rodillo que en el concreto vibrado.

a) Agregados

Concreto vibrado

Los agregados deben de cumplir con las normas de calidad descritas en el capítulo anterior.

Una granulometría típica para el caso de un concreto vibrado, puede ser la siguiente:

T.M.A. = 1 1/2"	
MALLA	% QUE PASA
2"	100
1 1/2"	91-100
1"	60-85
3/4"	50-74
1/2"	47-68
3/8"	38-57
No. 4	30-46
No. 10	21-31
No. 40	9-12
No. 200	0-2

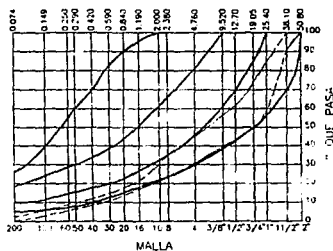


Fig. 11.2 *Granulometría para un pavimento de concreto vibrado*

El tamaño máximo de agregado para estos concretos varía entre 1 1/2" y 1" según las características que se quiera dar a la mezcla.

Concreto compactado con rodillo

En lo referente al tamaño máximo del agregado, en los primeros trabajos realizados con esta técnica de construcción, el tamaño máximo empleado fue de 1 1/2". Sin embargo se encontró que con este tamaño, la superficie de rodamiento quedaba con demasiadas protuberancias, por lo que el tamaño se redujo a 3/4", que es la recomendación que se emplea en la gran mayoría de los pavimentos de carreteras.

Con el empleo de un agregado de 5/8", es posible obtener una superficie de rodamiento un poco más cerrada.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

El empleo de agregados con tamaño máximo de 3/4", reduce la segregación de la mezcla por tamaños, en comparación con el uso de granulometrías con tamaños máximos mayores.

En el caso del CCR, la granulometría de los agregados tiene algunas diferencias.

T.M.A. = 3/4"	
MALLA	QUE PASA
2"	-
1 1/2"	-
1"	100
3/4"	85-100
1/2"	75-100
3/8"	60-83
No. 4	42-65
No. 10	30-47
No. 40	16-27
No. 200	9-19

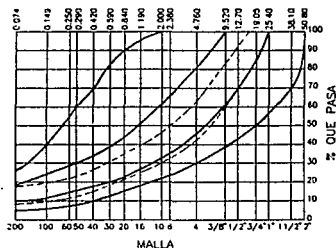


Fig. II.3 *Granulometría para un pavimento de CCR.*

En la tabla anterior, esta considerada la cantidad de aglutinante de la mezcla (cemento portland y puzolana). Esto se hace con objeto de limitar el contenido de finos que pasa la malla No. 200 a los límites que se fijan en dicha tabla.

Una de las mayores diferencias con la práctica usual del concreto vibrado, es el mayor porcentaje de finos que se permite, esto se debe a la mayor compactabilidad de las mezclas con cierto contenido de finos.

Se ha experimentado con materiales no convencionales, como es el caso del fosfoyeso. Este es un material de desecho industrial, compuesto principalmente por sulfato de calcio hidratado contaminado con fósforo. Los resultados indican que este material ayuda a la compactabilidad de la mezcla, sin tener efectos perjudiciales en las propiedades estructurales del concreto. Otro efecto benéfico fue el de actuar como retardante del fraguado, permitiendo así mayor tiempo para el manejo del material durante el proceso de construcción.

b) Ligantes.

Concreto vibrado

Por lo regular para los concretos vibrados, el ligante utilizado en la mezcla está formado en la mayoría de los casos por cemento simple, con la calidad descrita en el capítulo anterior. En ocasiones es posible utilizar mezclas de cemento con otras adiciones para obtener mejores resultados.

Concreto compactado con rodillo.

En la construcción del concreto compactado con rodillo, se acostumbra emplear el cemento portland mezclado con puzolana en cantidades apreciables, esto con el objeto de disminuir el costo e incrementar el tiempo disponible para el tendido y compactado del concreto.

Al aumentar el contenido de puzolana, baja el calor de hidratación inicial, lo que produce una menor contracción, lo cual influye en una mayor distancia entre grietas de contracción.

La cantidad de puzolana empleada en el CCR varía entre el 25 al 50 % en relación al total de material cementante.

Debido al empleo de grandes cantidades de puzolana, el incremento de resistencia del concreto después de los 28 días es muy alto, del orden del 50 %, esto hace necesario revisar las especificaciones de construcción en lo que se refiere a la resistencia requerida a los 28 días, permitiendo hacer también la medición de la resistencia en un plazo mayor, esto con el objeto de considerar la resistencia a largo plazo de una manera más realista.

El ACI afirma que cuando no se emplea puzolana, se puede incrementar el agregado fino que pasa la malla No. 100 en un 5 por ciento, respecto a lo acostumbrado para el concreto convencional, esto para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

c) Aditivos.

Concreto vibrado.

En el concreto vibrado, es común el empleo de aditivos. Los más usados son los reductores de agua, con los cuales se logra disminuir la relación agua-cemento, aumentando así la resistencia del concreto.

En lugares con climas extremadamente fríos donde se presentan ciclos de congelamiento y deshielo, se utilizan aditivos inclusores de aire en las mezclas, formando así la cantidad necesaria de vacíos con aire en el concreto.

Es posible utilizar otros tipos de aditivos como acelerantes o retardantes de fraguado, dependiendo de las características particulares de cada obra.

Concreto compactado con rodillo.

En este tipo de concreto, se acostumbra emplear aditivos para retardar el fraguado, de tal manera que se cuente con el tiempo suficiente para el transporte, la colocación y la compactación adecuada de la mezcla. También con el objeto de tener el menor número de juntas frías en el pavimento.

II.3.2 DISEÑO DE LA MEZCLA

a) Consistencia de la mezcla.

Para el caso de las mezclas de concreto vibrado, lo más común es medir la consistencia empleando la tradicional prueba de revenimiento con el cono de Abrams (Fig. III.8).

Dado que el procedimiento del concreto compactado con rodillo ha tenido un desarrollo muy rápido, aún existen diferencias en la estandarización de los ensayos de laboratorio. Uno de ellos es el de medición de la consistencia de las mezclas y los métodos

para elaborar probetas para estimar la resistencia a la tensión y a la compresión del concreto.

La consistencia es considerada como un indicador de la trabajabilidad y compactabilidad de la mezcla. Existen varios métodos empleados actualmente para medirla, entre ellos el que parece más adecuado y con mayor probabilidad de convertirse en un estándar, es el conocido como método VeBe.

El aparato VeBe consiste en una mesa vibratoria, un contenedor de mezcla, un cono de revenimiento, una placa de plástico, un peso de sobrecarga y una referencia. La medida de consistencia es el tiempo de vibrado en segundos necesario para cambiar la forma de cono truncado del concreto fresco, dejado por el cono de revenimiento, en una forma cilíndrica (Fig. III.9).

b) Proporcionamiento

Los pavimentos de concreto, se encuentran expuestos a situaciones bastante severas. Además de las cargas del tránsito,

existen otros factores que tienden a destruirlos. Estan sujetos a bruscos cambios de temperatura, abrasión y a la existencia de valores de soporte erráticos en la capa subrasante. Por estas razones, además de la gran importancia que tiene el aspecto económico en la ingeniería, resulta necesario extremar los cuidados en el proporcionamiento de los materiales en las mezclas de concreto.

Cualquiera que sea el método de proporcionamiento que se emplee, el concreto producido debe alcanzar una resistencia compatible con el diseño estructural, contener el aire incluido en la cantidad recomendada para el tamaño máximo del agregado y para la zona donde se va a usar, y lo que es más importante, contener una relación agua-cemento no mayor que la recomendada para las condiciones previstas.

El contenido de agua en las mezclas de concreto se debe mantener tan bajo como sea posible, ya que cuando aumenta la relación agua-cemento la resistencia del concreto disminuye (Tabla III.1). La cantidad de agua necesaria en la mezcla, se

determina basicamente en función de la trabajabilidad y de la resistencia que se desea obtener.

A continuación, se muestran dos proporcionamientos típicos para los diferentes tipos de concreto. Hay que tomar en cuenta que los proporcionamientos aquí mostrados, no son aplicables en todos los casos, y que es necesario hacer pruebas y llegar a un proporcionamiento óptimo para cada caso particular tomando en cuenta las características propias de cada obra.

Concreto vibrado.

En el proporcionamiento de las mezclas de concreto, deben de establecerse límites para los diferentes factores básicos, ya sea la relación agua-cemento máxima o la resistencia mínima o el contenido de cemento mínimo. Además deben especificarse los contenidos de aire mínimo y máximo, el revenimiento máximo y el tamaño máximo del agregado.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

En la siguiente tabla se muestra un proporcionamiento para mezclas de concreto vibrado para $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

CEMENTO	318.0	kg/m ³
AGUA	155.5	kg/m ³
GRAVA	1135.7	kg/m ³
ARENA	675.8	kg/m ³
	<hr/>	
	2285.0	kg/m ³

Tabla II.3 *Proporcionamiento para concreto vibrado.*

En este caso se utilizó una relación agua-cemento de 0.49 y una relación grava-arena de 1.7.

Concreto compactado con rodillo.

Dadas las características del CCR, los proporcionamientos utilizados tradicionalmente para el diseño de mezclas de concreto para pavimentos, no son recomendables. Esto debido a que la consistencia que se obtiene no tendría la capacidad de soportar al equipo de compactación empleado. La mezcla de CCR debe ser lo suficientemente seca para soportar el equipo de compactación, y

lo suficientemente húmeda para permitir la distribución adecuada de la pasta ligante durante el proceso de mezclado y compactación.

Una de las formas utilizadas para el proporcionamiento de las mezclas de CCR consiste en determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la compactación requerida en el proyecto, usando como referencia la prueba Proctor Modificada; y después establecer la relación agua-cemento, por medio de ensayos de tensión en el laboratorio, de manera que se logre la resistencia especificada.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, llevó a cabo algunos ensayos de laboratorio tratando de normalizar el diseño del CCR para su aplicación en pavimentos, llegando a los resultados que se muestran a continuación.

Tomando en cuenta la forma de colocación y compactación del CCR, se estimó conveniente trabajar con un 60% de grava y un 40% de arena del total del peso de los agregados, ya que con esta proporción, se logra una sucesión de tamaños más suave y por lo

tanto más acorde a lo requerido para una buena compactación con el equipo que se utiliza en la construcción de caminos. Esta se eligió como óptima por su peso volumétrico y composición granulométrica, determinando la cantidad de vacíos que dicha mezcla presenta bajo diferentes energías de compactación. Los resultados se muestran en la Tabla II.4 y en la Figura II.5.

La secuencia seguida para llevar a cabo la dosificación fue la siguiente:

- 1.- De entrada se cuenta ya con el valor del peso volumétrico compactado varillado de la mezcla grava-arena seleccionada, la relación agua-cemento y la cantidad de aire atrapado. En este caso, la mezcla grava-arena es 60-40, 0.4 la relación agua-cemento y 1% del volumen total la cantidad de aire atrapado.
- 2.- Se determinó el volumen que ocupan los agregados, incluyendo el agua de absorción.
- 3.- Hecho lo anterior se calculó la cantidad de vacíos, que sería ocupada más tarde por la pasta de agua-cemento.

4.- Con la relación agua-cemento proyectada, se encontraron los consumos de éstos materiales.

Con todo el análisis anterior, se llegó a los resultados mostrados en la Tabla II.4 ($f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$).

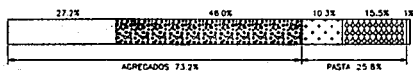
CEMENTO	247.0	kg/m ³
AGUA	98.8	kg/m ³
GRAVA	1204.2	kg/m ³
ARENA	802.0	kg/m ³
	<hr/>	
	2352.0	kg/m ³

Tabla II.4 *Proporcionamiento para CCR.*

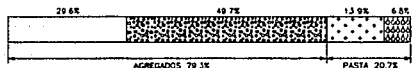
Hay que mencionar que en algunas obras particulares en México, se han hecho proporcionamientos que utilizan relaciones agua cemento más bajas (del orden de 0.3) y relaciones grava-arena de 50-50.

En las figuras II.4 y II.5 se pueden observar gráficamente los proporcionamientos en porcentaje tanto para el concreto vibrado como para el CCR.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**



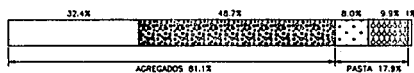
PORCENTAJE EN VOLUMEN



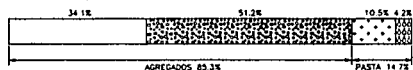
PORCENTAJE EN PESO



Fig. II.4 *Proporcionamiento para un pavimento de concreto vibrado.*



PORCENTAJE EN VOLUMEN



PORCENTAJE EN PESO



Fig. II.5 *Proporcionamiento para un pavimento de CCR.*

CAPITULO III

CONSTRUCCION

III.1 EJECUCION

III.1.1 FABRICACION DEL CONCRETO

El concreto es un material rígido artificial capaz de formar bloques monolíticos una vez que la pasta inicial pierde su plasticidad. Los materiales que lo constituyen son generalmente: agua, cemento, arena y grava, aunque a veces se le incluyen aditivos

u otros componentes que tienen por objeto mejorar o modificar algunas de sus características físicas o mecánicas.

La producción del concreto debe ser continua y coordinada con la operación de colocación del mismo en el sitio de la obra.

La fabricación del concreto se puede dividir desde el punto de vista de la ejecución en cinco fases:

1.- Suministro y acopio de los componentes a pie de planta:

Esta actividad es una de las operaciones que deben empezar con anterioridad al comienzo de la fabricación del concreto, aunque luego prosiga a lo largo de ésta.

Se debe garantizar el suministro de cada uno de los componentes del concreto, o de lo contrario contar con una suficiente cantidad de material almacenada para que no se retrase la fabricación.

El cemento se transporta desde la fábrica en camiones cisterna y se vacía por aire comprimido a los silos dispuestos en la planta de fabricación.

La procedencia del agua puede ser de canalizaciones de agua destinada a riegos, de pozos perforados a estos efectos, de la red, o de alguna otra fuente.

Los aditivos no suelen ofrecer dificultades de suministro debido a las pequeñas proporciones en que se utilizan, aunque debe asegurarse su abastecimiento.

2.-Carga de los materiales a la planta de fabricación:

La carga de los agregados a la mezcladora se hace normalmente con palas siendo frecuente, cuando la producción es muy grande la interposición de tolvas y a veces las pretolvas enlazadas con las primeras con bandas transportadoras.

El cemento se vacía a la mezcladora por medio de un tornillo sinfín, tanto el agua como el aditivo entran con bomba a la mezcladora.

3.-Dosificación:

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto. Para producir concretos de calidad uniforme, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla.

Todos los agregados deben medirse por separado y de acuerdo a las cantidades establecidas para el tipo de concreto que se va a elaborar. Cuando el concreto es premezclado, este proceso se hace por peso, esta es la forma más exacta para dosificar los materiales.

4.-Mezclado:

Para asegurarse que los componentes estén combinados en una mezcla homogénea se requiere de un gran cuidado. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado.

Es preferible que el cemento se cargue junto con otros materiales, pero debe entrar después de que aproximadamente el 10% del agregado haya entrado en la mezcladora.

El agua debe entrar primero en la mezcladora y continuar fluyendo mientras los demás ingredientes se van cargando y debe terminar de introducirse dentro del 25% inicial del tiempo de mezclado. Así la cantidad de agua necesaria para cada mezcla se debe medir conforme al diseño, antes del proceso.

El tiempo de mezclado para una mezcladora con una capacidad de un saco es aproximadamente un minuto y quince segundos, y nunca podrá ser menor de 50 segundos ni mayor de 90 segundos; sin embargo, este tiempo variará según las condiciones de la mezcladora. El tiempo de mezclado debe medirse a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora.

5.-Descarga:

Una vez mezclado el concreto se descarga en los camiones de transporte, llevando cada uno de éstos un volúmen determinado de mezcla.

III.1.2 TRANSPORTE

Transporte del Concreto Hidráulico Vibrado

Este concreto por lo regular se transporta en camiones revoladora. Cuando para el transporte del concreto al lugar de utilización se emplee equipo de acarreo que carezca de sistemas de agitación, la descarga debe hacerse dentro de los 45 minutos posteriores al mezclado. En caso de emergencia este tiempo puede aumentarse hasta aquel en que no se produzca una reducción indebida en el revenimiento. Bajo condiciones que propicien el rápido endurecimiento, como cuando la temperatura del concreto sea mayor de 30 grados centígrados al efectuarse la descarga, el tiempo entre el mezclado y la descarga no debe exceder de 30 minutos.

Transporte del Concreto Compactado con Rodillo

Debido a que el concreto compactado con rodillo debe tener un revenimiento igual a cero para que soporte el peso de la compactadora, su transporte se lleva a cabo mediante camiones de volteo y se vierte directamente en la tolva de la pavimentadora.

Se debe evitar la pérdida de humedad durante el acarreo, para lo cual se recomienda la colocación de lonas sobre la caja del camión para evitar desecaciones de la masa del concreto por efectos del sol o por el mismo viento producido por la marcha del camión. Se recomienda un tiempo de acarreo no mayor de 15 minutos ni una distancia mayor de 5 a 6 kilómetros.

III.1.3 CIMBRADO

El concreto hidráulico vibrado con un revenimiento mayor a cero, a diferencia del CCR, requiere necesariamente de una cimbra para su colocación, debido a su consistencia más fluida provocada por la mayor cantidad de agua que éste requiere.

Deben utilizarse cimbras capaces de soportar los efectos generados por la vibración. Se recomienda que la cimbra tenga un peralte mínimo igual al espesor de la losa de concreto y un ancho en la base igual al 0.75 del peralte, pero no menor de 20 cm. Las cimbras deben de estar provistas de sistemas adecuados de sujeción que les permita permanecer en su sitio una vez colocadas y soportar, sin giros ni asentamientos apreciables a simple vista, el impacto y las vibraciones del equipo de acabado y de compactación del concreto. Se recomienda el uso de cimbras flexibles o curvadas cuando la curva tenga un radio de 30 m o menor. Las cimbras deben estar limpias y engrasadas antes de la colocación del concreto.

Cuando hay que ejecutar un carril adyacente a otro con equipo de cimbra deslizante, la pavimentación de la segunda vía se modifica ligeramente. El borde central existente elimina la necesidad de utilizar el cimbrado deslizante de ese lado y así mismo su rasante sirve de referencia para dar la cota también por ese lado.

En el caso frecuente de colado en dos fases de dos carriles adyacentes, conviene disponer la junta central machihembrada. Para ello basta modificar ligeramente una de las cimbras que

limitan la primera fase del colado. Esta modificación puede consistir en acoplar una saliente trapecial a la cimbra normal a media altura. Es importante en cualquier caso que la parte superior de las cimbras se cuide para que no se deterioren y así al resbalar sobre ellos las maestras den una superficie suficientemente lisa.

a) Colocación de la Cimbra

Una vez obtenida la rasante del proyecto de la capa de apoyo de la losa, se debe colocar las cimbras laterales sujetándolas firmemente al terreno mediante clavos. Es importante fijar correctamente su altura para que el espesor final del concreto sea el previsto. Asimismo se debe procurar que queden lo más verticales posible, en especial en las juntas transversales de construcción. Por otra parte, debe cuidarse la regularidad de su capa superior para evitar defectos que podrían reflejarse en la superficie final del concreto. La cara lateral de la cimbra en contacto con el concreto debe impregnarse con un producto que facilite el descimbrado. Este se debe realizar habitualmente a las 24 horas de colado. Para no retrasar o dificultar la colocación en obra del concreto, la cimbra debe colocarse con una anticipación

suficiente que dependerá en cada caso de la capacidad de fabricación y de extendido del concreto.

b) Colocación de Cimbra Deslizante

Los equipos de cimbra deslizante disponen de una cimbra integrada con la cual se deslizan y avanzan respecto al pavimento que se este ejecutando. El concreto debe tener una consistencia adecuada, seco-plástica, de tal forma que al salir de la máquina no se desmorone lateralmente el material.

III.1.4 COLOCACION

Colocación del Concreto Hidráulico Vibrado

La preparación previa al colado de la losa incluye diversas actividades, como el humedecimiento de la subbase, el montaje de las cimbras y la fijación segura en el concreto del acero de refuerzo

(cuando por alguna causa sea necesario) y de los demás accesorios que vayan a quedar insertos. El humedecimiento de la subbase es muy importante, a fin de que no absorba demasiada agua del concreto.

Colocación del Concreto Compactado con Rodillo

Esta se realiza con pavimentadores asfálticas convencionales modificadas. El uso de pavimentadoras de alta capacidad ha probado ser la mejor opción para obtener altas densidades en pavimentos compactados con rodillo.

En este caso también se requiere humedecer la subbase para evitar la pérdida de humedad en la base de la capa de concreto. La operación de tendido requiere un control preciso del espesor y nivelación del pavimento. Esto se logra con controles automáticos.

El concreto se coloca de una sola vez cuando el espesor del pavimento es del orden de 25 cm o menos. Cuando el espesor del

pavimento es mayor de 25 cm el concreto puede colocarse en dos o tres etapas.

En este último caso el espesor de las capas será de entre 15 y 25 cm dependiendo del diseño específico. El ancho del pavimento puede ser crítico para la compactación y textura superficial en las orillas del mismo, particularmente si las secciones son mayores de 4.3 metros de ancho. El material tiende a segregarse en las orillas, debido al efecto de la hélice que distribuye la mezcla en la pavimentadora.

Se pueden obtener buenos resultados al extender y nivelar el concreto con motoconformadoras.

En los últimos años se han desarrollado maquinarias especiales para extender el concreto compactado con rodillos, las cuales aplican compactaciones iniciales del orden de 92 a 94 por ciento del máximo de la prueba Proctor modificada. Sin embargo, en base a experiencias se ha visto que a medida que avanza la máquina pavimentadora, se producen grietas superficiales difíciles

de eliminar y debidas a la rigidez del concreto, por lo que se sugiere emplear una pavimentadora que dé menos compactación, del orden de 90 a 92 por ciento, para que se reduzca este problema.

Cuando el pavimento se construye en varias etapas, debe prestarse mucha atención al intervalo de tiempo que transcurre entre la colocación de capas sucesivas. En clima cálido dicho intervalo no debe exceder de una hora. En clima frío y si las condiciones de viento lo permiten, pueden dejarse pasar entre dos y tres horas.

III.1.5 COMPACTACION

Compactación del Concreto Hidráulico Vibrado

El acomodo mediante picado en juntas y bordes, la aplicación de una regla, el apisonado mecánico y el uso de vibradores son procedimientos efectivos hasta cierto grado, pero automáticamente no pueden asegurar la obtención de un concreto

denso. Los vibradores, ya sean de inmersión o de superficie, pueden producir buenos resultados.

La vibración pone en movimiento las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de una mezcla más dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea su tamaño máximo, habrá que llenar con pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia una menor cantidad de agua y de cemento.

Al vibrar el concreto, la fricción interna entre las partículas de agregado se destruye temporalmente y el concreto se comporta como un líquido; se asienta en las cimbras por acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire atrapado suben más fácilmente a la superficie. La fricción interna se restablece en el momento que la vibración se detiene.

En las losas delgadas, el vibrador se debe insertar con un ángulo casi horizontal de modo que se mantenga completamente sumergida la cabeza del vibrador. El vibrador no debe entrar en contacto con la subbase y un tiempo de inserción de 5 a 15 segundos da normalmente una compactación adecuada.

Toda el área del pavimento debe ser compactada en la forma más efectiva que sea posible. Debe ponerse especial atención en los bordes, la línea central y las otras juntas. Los vibradores de inmersión son accionados cuando la pavimentadora se mueve hacia adelante y deben pararse cuando ésta se detiene.

Compactación del Concreto Compactado con Rodillo

La base de apoyo tiene más importancia para la construcción del CCR que para el concreto normal, debido a que si la base es débil, no es posible compactar el concreto hasta lograr las densidades requeridas en el proyecto.

Se debe iniciar la compactación a unos 30 ó 40 cm de la orilla libre y continuar hacia el interior de la losa. La orilla libre se compacta inmediatamente después, con un equipo más ligero, como una placa vibratoria o un rodillo vibratorio ligero (Fig III.1).

Otra forma de tomar en cuenta el defecto en la compactación de las orillas, es construir los acotamientos también de concreto compactado y aceptar que en ellos la resistencia sea menor que en el carril de proyecto. En este caso se compacta primero el acotamiento y después los carriles de circulación, para que al compactar estos últimos no haya problemas de confinamiento lateral.

En lo que se refiere a la secuencia en el proceso de compactación se sugiere que se inicie con una o dos pasadas estáticas con rodillo metálico liso (sin vibrador), para lograr una compactación inicial de la mezcla sin desplazamientos excesivos. Inmediatamente después se realizan las pasadas restantes con rodillo metálico vibratorio, en general durante esta parte del proceso, se producen pequeñas grietas en la superficie y para

eliminarlas se continúa con una o dos pasadas con un compactador no vibratorio de rodillos neumáticos.

Cuando la superficie de rodamiento o carpeta se deja sin recubrir, antes de terminar la compactación del CCR, se le da un acabado superficial a la losa; este acabado se realiza con una pulidora giratoria, llamada también "helicóptero".

Para que un concreto pueda ser compactado eficientemente debe de tener un espesor de 20 o 25 cm como máximo para lograr una buena compactación.

Recomendaciones para el proceso de compactación:

-Para mejores resultados se recomienda el empleo de una pavimentadora como las empleadas para la construcción de pavimentos de concreto asfáltico, usando hilo nivelador y barras niveladoras que también compacten.

- Uso de pavimentadoras para trabajo pesado, que empleen barras de compactación niveladoras que dejen al pavimento con más de 90% del peso volumétrico máximo de la prueba Proctor Modificada. Esto reduce la compactación dada por el rodillo vibratorio, que es la etapa que produce la mayor irregularidad en la carpeta.
- El proceso de compactación se realiza con rodillos vibratorios de acero; el peso de éstos es del orden de 10 toneladas.
- El Cuerpo de Ingenieros también recomienda compactadores de rodillos dobles, indicando además que se emplee vibración de baja frecuencia para lograr

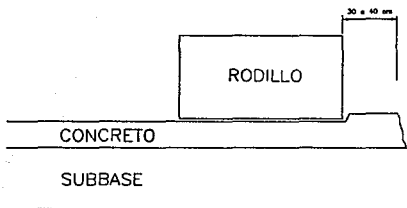


Fig. III.1 Compactación del CCR.

mejores resultados; con una velocidad del rodillo que no exceda de 3.2 km/h.

-Otro procedimiento, también empleado para reducir el agrietamiento al compactar, consiste en humedecer los rodillos de acero en las últimas pasadas de compactación vibratoria, para producir suficiente pasta que cierre las fisuras de la superficie; aunque en este caso puede quedar una superficie con textura muy cerrada.

III.1.6 CURADO

Curado del Concreto Hidráulico Vibrado

Esta operación se realiza para evitar la pérdida de agua de la mezcla por evaporación superficial, lo que, aparte de provocar fisuras de retracción, da lugar a una disminución de las resistencias del concreto, en especial en la parte superior del mismo. Para ello o bien se humedece pulverizando sobre la superficie del pavimento un producto filmógeno de gran poder de cubrimiento o se extiende

una membrana impermeable o bien se mantiene húmeda la superficie por otros medios.

Inmediatamente después de que se hayan concluido las operaciones de acabado y se haya evaporado la película de agua de la superficie, o tan pronto como la consistencia de la mezcla lo permita, debe cubrirse y curarse toda la superficie del concreto recientemente colado, aplicando alguno de los métodos que se mencionan adelante. Se debe tener un período de curado de 7 días a temperaturas superiores a 4 grados centígrados pero establece períodos más cortos si antes se obtiene en el concreto el 70% o más de la resistencia a la flexión especificada.

Tipos de curado:

-Curado con membrana.- Inmediatamente después de que ha desaparecido la película de agua de la superficie del concreto, ésta debe ser cubierta uniformemente con el material de curado en forma de membrana líquida por medio de una máquina de aspersión, en cantidades no menores de 0.27 l/m^2 . En zonas irregulares o en

tramos del pavimento en donde resulte impráctico el uso de máquinas de aspersión la distribución del material de curado puede hacerse por medio de equipos adecuados de aspersión manual. Las caras laterales de la losa deben cubrirse con el material de curado dentro de los primeros 60 minutos posteriores a la remoción de la cimbra.

-Mantas de algodón o yute.- La superficie y los bordes del pavimento deben cubrirse totalmente con estas mantas, las cuales antes deben mojarse con agua. Las mantas deben quedar en íntimo contacto con la superficie, pero no deben colocarse hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente, para evitar que se adhieran o se incorporen al mismo. Deben mantenerse completamente húmedas y en posición correcta durante todo el período de curado específico.

-Papel impermeable.- Tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente como para evitar que el papel impermeable se adhiera a él, se cubre toda la superficie del pavimento con este material. Las hojas del mismo deben traslaparse un mínimo de 30 centímetros. El papel impermeable debe tener un

ancho suficiente para que se pueda traslapar y además cubrir completamente los lados de la losa una vez que se haya removido la cimbra, a menos que se cuente con tiras adicionales de papel para este último propósito. El papel impermeable debe colocarse y mantenerse en íntimo contacto con la superficie y los lados del pavimento durante todo el período del curado. Este material debe aplicarse sólo sobre la superficie humedecida. Si la superficie se observa seca debe humedecerse con una aspersion de agua lo suficientemente fina para no causar daño al concreto fresco.

-Cubierta de polietileno blanco.- La superficie y los lados del pavimento deben cubrirse enteramente con la tela de polietileno blanco, el cual debe colocarse cuando la superficie del concreto está todavía húmeda, si la superficie del concreto se observa seca debe mojarse mediante una fina aspersion de agua antes de colocarse la cubierta. Las hojas de polietileno adyacentes deben traslaparse 45 centímetros y tener contrapesos encima para mantenerlas en contacto con la superficie del pavimento. La cubierta debe ser de una

dimensión tal que se prolongue más allá de los bordes del pavimento y alcance a cubrir por completo los lados de la losa, una vez que se haya removido la cimbra. La cubierta de polietileno debe permanecer en su lugar durante todo el período de curado y debe especificársele un espesor mínimo de 0.10 mm para su adecuado manejo.

-Curado en los cortes efectuados con sierra.- Los cortes que se hagan con sierra en un pavimento que aún se encuentra en proceso de curado deben protegerse contra un secado rápido. Esto puede lograrse por medio de un papel trenzado, cuerdas de fibra o similares, o bien, por medio de tiras de polietileno engomadas u otro material.

Curado del Concreto Compactado con Rodillo

El curado es de una importancia fundamental para que el cemento tenga el agua necesaria para la reacción química y de esa manera obtener las propiedades deseadas en el concreto. Debido a la poca cantidad de agua inicial, el curado debe empezar desde

el momento de terminar la compactación. En algunos lugares se recomienda dar una aspersión ligera en el pavimento extendido, antes de la compactación, cuando ésta se demora un poco.

En la práctica se pueden emplear todos los procedimientos de curado utilizados en el caso de concretos normales. Los procedimientos más empleados han sido la aspersión de agua, la colocación de una capa de arena conservada húmeda por aspersión de agua en ella, empleo de membranas a base de productos químicos y plásticos.

Se recomienda mantener la superficie húmeda utilizando aspersores muy finos. En este caso se debe tener cuidado en que la aspersión sea efectivamente muy fina y que no haya escurrimiento de agua en la superficie; de lo contrario se puede lavar el cemento en la superficie del concreto.

Cuando se construye la carpeta en varias capas no se permite el empleo de productos químicos selladores entre capa y capa, para lograr la máxima adherencia entre ellas.

Las zonas críticas para el curado son las grietas o ranuras de contracción y las orillas del pavimento, debido a que tiene más superficie exterior para perder agua. Cuando no se ha dado un curado adecuado, en esa zona se presenta disgregación del concreto. En este aspecto la experiencia obtenida por el Cuerpo de Ingenieros muestra que las zonas más deterioradas en los tramos experimentales construídos por ellos se encuentran en las grietas y juntas de construcción.

III.1.7 JUNTAS

Las juntas tienen como finalidad evitar fisuras debidas a las dilataciones y contracciones que sufre el concreto al variar la temperatura y se deben colocar en forma transversal y longitudinal.

En la práctica es conveniente establecer juntas con una separación máxima de 4.5 m sobre cualquier superficie construida con concreto.

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son:

- a) Esfuerzos debidos a cargas aplicadas.
- b) Esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción.

Juntas en Pavimentos de Concreto Hidráulico Vibrado.

a) Juntas de contracción

El objeto de una junta de contracción es limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. Básicamente existen dos tipos de juntas:

-Junta de ranura: esta junta se construye formando una ranura en la superficie del pavimento. Los métodos empleados para formar la ranura consisten en: introducir temporalmente una tira metálica en el pavimento, instalar una tira de material premoldeado de relleno para juntas a la profundidad requerida o aserrar el pavimento después que el concreto haya endurecido.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

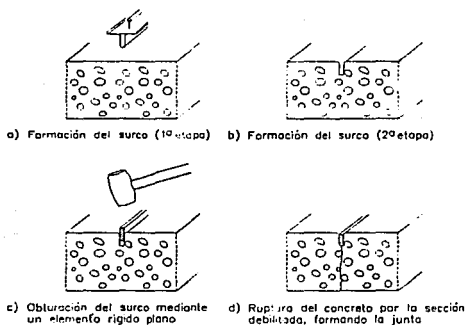


Fig. III.2 Construcción y sellado de una junta en fresco.

Además de la ranura en la superficie, algunas veces se coloca en el fondo del pavimento y bajo la ranura una tira de partición de madera, metal o de un material premoldeado, para asegurar la formación de una grieta vertical y promover las primeras grietas del concreto en la junta.

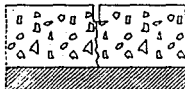


Fig. III.3 Junta de contracción aserrada.

-**Junta de tiras metálicas:** esta junta se construye colocando una tira separadora o de partición sobre la subrasante. Este separador, que generalmente consiste en una placa metálica o en una hoja delgada de algún material rígido e incompresible, sirve para interrumpir la continuidad del pavimento. Se forma una ranura en el concreto inmediatamente encima del separador, donde se colocará el material de sellado.

b) **Juntas de expansión**

Estas juntas se colocan entre todas las estructuras y elementos, tales como depósitos, registros, cruces de calles o intersecciones, que se proyectan a través, dentro o contra el pavimento de concreto.

Estas juntas son semejantes a la de construcción con una separación entre losas de 2.5 cm. Al momento de

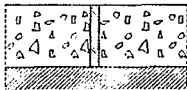


Fig. III.4 Junta de expansión.

hacer la junta, se colocará entre el concreto una tira de material compresible de una altura que deje un espacio vacío arriba de ella de 2.5 cm para sellarse.

c) Juntas transversales de construcción

Sirven para fijar los colados de las franjas de concreto transversalmente. Pueden ser de dos tipos: Planeadas y Emergentes. Las primeras se establecen de acuerdo a estimaciones de jornadas de trabajo o por necesidades de construcción. La junta es a tope, la cara vertical se hace mediante una cimbra plana a todo lo ancho del pavimento. Con un ranurador se hace un canal en la mitad superior del espesor de la losa, a fin de poder colocar el sello. En cuanto a las emergentes éstas se tienen que haber originado por retrasos imprevistos, por lo que en ocasiones se colocan en puntos no planeados, de tal manera que pueden no coincidir con la de la otra losa paralela a ella, no teniendo continuidad en la ranuración transversal, a fin de transmitir correctamente las cargas y evitar con esto el agrietamiento por "acompañamiento".

d) Juntas de alabeo

Estas se utilizan tanto longitudinal como transversalmente, donde se desea o se necesita tomar libremente el alabeo de las losas. En el caso de concreto simple se utilizan juntas machihembradas.

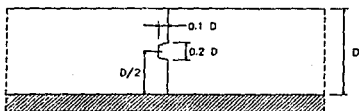


Fig. III.5 Junta de alabeo machihembrada

e) Juntas longitudinales

Estas juntas se construyen por lo regular machihembradas, estas son juntas entre carriles contruídos separadamente, pueden ser formadas ya sea con métodos de cimbra deslizante o con cimbras estándar de acero provistas de machihembrado.

Recomendaciones para la construcción de juntas

- a) Para las transversales, las distancias varían entre 3 y 8 m, siendo común 4 m.
- b) En las longitudinales, esta distancia la fija el ancho requerido del carril, así en carreteras es común 3.7 m.
- c) La relación óptima de largo a ancho es la cuadrada, pero se pueden aceptar relaciones de 1.25 para espesores grandes y de 1.15 para delgados.
- d) La inducción de la grieta se hace reduciendo la sección transversal del pavimento en un 25% como mínimo, mediante el serrado con el equipo adecuado.
- e) El ancho de la junta debe ser el mínimo posible y está dado por el espesor de las pastillas de diamante del disco que suelen ser de unos 3 mm aproximadamente.
- f) En caso de que la junta sea transversal en toda la anchura de la losa, deberá tener un esviaje de 1/6, realizada de tal manera que los vehículos al circular pisen la junta antes con la rueda izquierda que con la derecha, o viceversa.

g) Para el concreto hidráulico vibrado el espaciamiento entre juntas transversales deberá estar comprendido entre 3.5 y 4.5 m, mientras que para el CCR deberá ser alrededor de 7 m.

h) En el caso de carriles adyacentes colados por separado, hay que tener la precaución de que la secuencia de corte en el segundo carril tenga las juntas en prolongación de las primeras, para que no se induzcan grietas de un carril a otro.

Juntas de pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo (CCR).

-Juntas de construcción

Se pueden clasificar como frescas, cuando no se ha completado el fraguado antes de que se continúe la construcción, de manera que el concreto compactado se pueda considerar como un bloque integral; o frías cuando el fraguado ya ha ocurrido y los dos bloques de concreto funcionan de manera separada.

En el caso de una junta fresca la obra simplemente continúa sin ningún trabajo adicional en la junta. En la figura se muestra el procedimiento para hacer el empalme de la nueva capa de concreto.

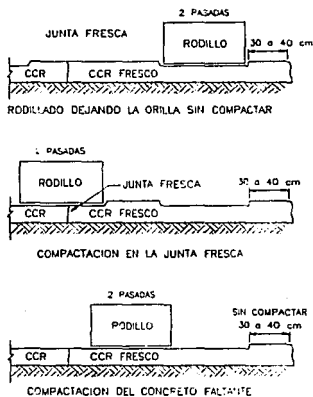


Fig. III.6 Construcción de una junta fresca.

En el caso de una junta fría se necesita una preparación especial antes de continuar el trabajo como en la figura. La preparación consiste en recortar el final de la losa anterior, dejando una superficie vertical, para evitar que las losas queden montadas una sobre otra; también

se recomienda humedecer la pared de contacto. Las juntas frías deben quedar espaciadas lo más posible.

Las juntas de construcción frías pueden tener condiciones desfavorables para la compactación por ser orillas libres, por lo que se deben recortar y deshechar los últimos 40 cm de construcción para eliminar el concreto que tiene baja compactación.

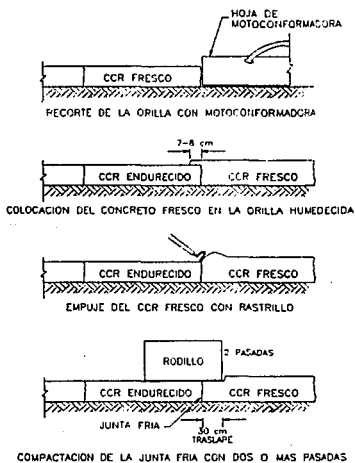


Fig. III.7 Construcción de una junta fría.

-Juntas de contracción

Existen dos criterios, el primero permite que el concreto se agriete por sí mismo, apareciendo las grietas en espaciamientos aleatorios; el segundo recurre a la técnica del ranurado para provocar la aparición de las grietas a distancias preestablecidas.

Se recomienda que el proceso de ranurar, para provocar el agrietamiento de contracción en lugares predeterminados, es una mejor práctica de construcción por las siguientes ventajas:

- a) Se logran juntas mejor delineadas, con menores probabilidades de rotura del concreto en las orillas de la misma.
- b) Se puede fijar un espaciamiento entre grietas de contracción menor que el espaciamiento natural, de manera que la abertura de éstas es también menor, mejorando la transferencia de carga y reduciendo la infiltración de agua.

Dado que el CCR tiene menor cantidad de agua, la contracción es también menor y la distancia entre grietas de contracción se incrementa considerablemente, en relación a las losas de concreto hidráulico vibrado.

El espaciamiento promedio observado en el CCR en regiones de altas temperaturas o humedad, es del orden de 3 a 5 m.

Sellado de las juntas

La parte superior de las juntas de expansión y todas las juntas de borde deberán sellarse con el sellador especificado antes de que el pavimento se abra al tránsito. La abertura de la junta deberá limpiarse cuidadosamente de todo material extraño antes de que se coloque el sellador. Todas las caras de contacto de las juntas deberán limpiarse con un cepillo de alambre para remover el material suelto, y la superficie deberá estar seca si el sellador que se usa se cuele en caliente.

El material sellador deberá colarse o colocarse en la abertura de la junta. El colado deberá hacerse de tal manera que el material no salpique a las superficies expuestas al concreto. Cualquier exceso de material en la superficie del pavimento de concreto se limpiará inmediatamente.

Cuando se requiera, las superficies expuestas al sellador deberán cubrirse con un polvo aprobado para evitar que las ruedas de los vehículos se peguen al sellador.

III.1.8 ACABADOS

Acabados para el Concreto Hidráulico Vibrado

A las losas de concreto se les puede dar acabado de distintas maneras. Dependiendo del uso que vayan a brindar los pavimentos, se les pueden aplicar los acabados de aplanado, bordeado, pulido o escobillado.

a) **Aplanado:** Después de que el concreto haya sido enrasado y compactado, deberá alisarse por medio de una llana transversal. Debe tenerse cuidado de empezar la operación de aplanado en el momento adecuado. En esta operación, la llana transversal debe moverse con un desplazamiento alternante, manteniéndola en posición perpendicular al eje central del camino y pasándola gradualmente de uno al otro lado del pavimento. Los movimientos hacia adelante a lo largo del eje central del camino deberán hacerse en etapas sucesivas de longitud no mayor que la mitad de la longitud de la llana.

Una de las principales causas de la existencia de defectos en la superficie de las losas de concreto, se debe a la aplicación del acabado mientras existe agua de sangrado en la superficie, ésto causará graves agrietamientos, levantamientos de polvos, y descascamientos.

b) **Bordeado:** el bordeado se debe efectuar a lo largo de todos los bordes de las cimbras y de las juntas de aislamiento y construcción en los pisos y en las losas exteriores, como son las losas de banquetas, calzadas y patios. El bordeado densifica y compacta

el concreto cercano a la cimbra; en esos lugares, el alisado y el emparejado son menos efectivos, por lo que con el bordeado se proporciona una mayor durabilidad y una menor vulnerabilidad al descascaramiento y a la fragmentación.

c) Pulido: cuando se desea obtener una superficie densa, dura y lisa, al emparejado deberá proseguir el pulido metálico. El pulido no se deberá ejecutar en una superficie que no se haya emparejado previamente. Pulir después de sólo haber aplanado, no es un procedimiento adecuado de acabado.

Al dar acabado a mano a las losas grandes, se acostumbra emparejar y alisar inmediatamente una zona antes de mover las tablas donde se hince el trabajador. Estas operaciones se deben retrasar hasta después de que el concreto haya endurecido lo suficiente, de tal suerte que el agua y el material fino no se desplacen hasta la superficie.

El esparcir cemento seco sobre una superficie exageradamente húmeda para absorber el exceso de agua no es una

práctica recomendada y puede provocar agrietamientos irregulares. Se debe evitar la aparición de tales excesos de humedad dentro de lo posible, realizando ajustes en la granulometría del agregado, en las proporciones de las mezclas, y en la consistencia. Cuando estos excesos llegan a ocurrir, las operaciones de acabado se deben retrasar hasta que el agua se evapore o se remueva con una barredora de goma para pisos o arrastrando cuidadosamente una manguera.

El primer pulido puede producir la superficie deseada libre de defectos. No obstante, la resistencia al desgaste, la densidad y la tersura de la superficie se pueden mejorar con pulidos adicionales.

d) Escobillado: se puede producir una superficie resistente contra patinamientos por medio del escobillado antes de que el concreto haya endurecido completamente, aunque debe estar lo suficientemente dura para retener la impresión del rayado.

El escobillado deberá realizarse con una escoba de fibras o de acero, con un ancho no menor de 45 cm. La escoba será jalada suavemente sobre la superficie del pavimento de un borde a otro. Las franjas adyacentes en que se realice el escobillado deberán sobreponerse ligeramente. El escobillado se hará perpendicular al eje central del pavimento y se realizará de tal manera que las corrugaciones producidas sean uniformes en textura y ancho, y con una profundidad no mayor de 3 mm. La superficie escobillada estará libre de zonas porosas, irregularidades, depresiones y pequeñas bolsas como las que pueden producirse al remover accidentalmente partículas de agregado grueso cercanas a la superficie.

Acabados del Concreto Compactado con Rodillo (CCR)

Para obtener una superficie de rodamiento resistente al patinaje, se ha previsto una carpeta de concreto asfáltico cuyo espesor puede variar de 4 a 10 cm. Además, dicha capa absorberá las pequeñas depresiones que pudieran dejar los rodillos vibratorios durante el proceso de compactación.

En caminos de tránsito bajo se ha optado por dejar la superficie de tránsito libre. Si acaso, se le da un acabado con allanadora mecánica. En estas condiciones, es recomendable una velocidad máxima de 40 km/h.

III.2 CONTROL DE CALIDAD

III.2.1 TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado se denomina trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable y no se debe segregar ni sangrar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado, provocada por el asentamiento de los materiales sólidos (cemento, arena y grava) dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, con resistencia al

desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas; colores y texturas para obtener un número ilimitado de acabados.

La trabajabilidad se mide por diferencia de alturas (revenimiento) entre un molde cónico normalizado y la altura final de un cono de concreto al retirársele el molde, lo cual se explica más adelante. La fluidez y consistencia de la mezcla son elementos cualitativos que también indican el grado de trabajabilidad de la mezcla.

Una adecuada relación agua-cemento es fundamental para influir en esta propiedad, ya que un exceso o falta de líquido genera demasiada o nula fluidez en la mezcla. En el primer caso se corre el riesgo de una disgregación y pronto asentamiento de los agregados que componen al concreto, y en el segundo se inhibe la capacidad de éste para tomar positivamente la forma del molde que la contiene, además de afectar la compacidad, y por tanto la resistencia del concreto.

Se define como revenimiento a la medida de consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones específicas.

Las paredes del molde metálico no deben ser menores a 1.5 mm. Si se fabrica por el procedimiento de rolado, ningún punto del molde debe tener un espesor menor de 1.0 mm. El molde debe tener la forma de un cono trunco de 20 cm de diámetro inferior, 10 cm en la parte superior y 30 cm de altura. Debe estar provisto de dos estribos para apoyar los pies y de dos asas para levantarlo.

Se usa una varilla de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud aproximadamente, con uno de los extremos redondeados hemisféricamente con un radio de 8 mm.

El procedimiento consiste en humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie horizontal, plana, rígida, húmeda y no absorbente. El operador lo debe mantener firmemente en su

lugar, durante la operación de llenado, apoyando los pies en los estribos. Se debe llenar en tres capas, cada una aproximadamente igual a $1/3$ del volumen total. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla, introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidas uniformemente sobre la sección de cada capa, para lograr ésto es necesario inclinar la varilla ligeramente de manera que la mitad de las penetraciones se hagan cerca del perímetro.

Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm; para el llenado de la última capa se amontona el concreto por encima del borde superior del molde antes de empezar la compactación.

Se enrasa el concreto a la altura del molde mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de asiento e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. En el levantado del cono no deben pasar mas de 7 segundos y no debe haber movimientos rotacionales.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

Desde que se empieza con el llenado del molde, hasta que se levanta el molde no deben pasar mas de 2.5 minutos. Después se mide el revenimiento determinando el asiento que sufre el concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo esta diferencia de alturas en el centro.

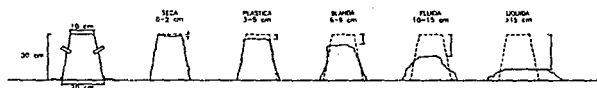


Fig. III.8 Consistencia del concreto (cono de Abrams).

Para el concreto compactado con rodillo el revenimiento debe ser igual a cero para poder soportar el peso de la compactadora, mientras que para el concreto vibrado el revenimiento debe ser de 5 cm a 7.5 cm. para permitir la introducción de los vibradores.

Para el CCR la trabajabilidad se determina a través de la prueba VeBe, que consiste en hacer vibrar en una mesa vibratoria a un recipiente lleno de concreto y con una sobrecarga aplicada en

su cabeza. Conforme el peso de la sobrecarga aumenta, el tiempo de consistencia disminuye para una sola mezcla.

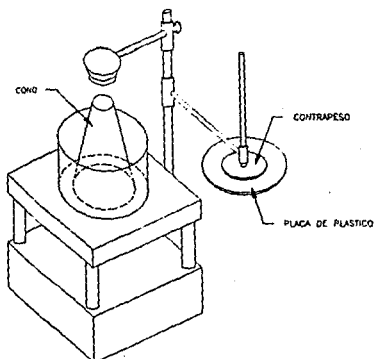


Fig. III.9 Consistómetro VeBe.

Varios factores pueden afectar el resultado de la prueba VeBe. Por ejemplo, una elevada cantidad de arena o una alta temperatura lo incrementan. Entre tales factores destaca la cantidad de agua en la mezcla. Bajos períodos de VeBe indican una mezcla extremadamente fluida.

Un período VeBe de 5 segundos indicaría la máxima cantidad de agua tolerable sin que la mezcla presente revenimiento.

El propósito de la prueba VeBe es determinar el contenido de humedad correspondiente a una determinada consistencia. La prueba VeBe sigue tres pasos para medir la consistencia:

- 1.- Un recipiente de .0094 m³ es llenado hasta el borde con concreto fresco para después colocarle una sobrecarga en la cabeza, cuyo peso promedio es de 20 kg.
- 2.- El cilindro es sujetado a una mesa de vibrado, la cual tiene una frecuencia de 3600 ciclos por minuto y una amplitud constante. La probeta es vibrada con la sobrecarga hasta que completa su consolidación.
- 3.- El valor de la consistencia o trabajabilidad de la mezcla es el tiempo en segundos que ésta tarda en formar un anillo en la cara interna del cilindro bajo vibrado.

III.2.2 COMPACTACION

La compactación del concreto juega un papel importante en el resultado final ya que usualmente se tiene un porcentaje de vacíos mayor al 2% producidos por una cantidad insuficiente de mezcla para cubrirlos. Una buena compactación tiende a disminuir estos vacíos, incrementando la densidad y la resistencia del concreto.

La forma más utilizada para medir la compactación del concreto es utilizando un densímetro nuclear, que a la vez obtiene el contenido de humedad en el concreto.

III.2.3 RESISTENCIA

La resistencia de un material se puede definir como la capacidad de éste para tomar esfuerzos sin que falle.

Cuando las condiciones de curado y trabajabilidad son satisfactorias, la resistencia del concreto a compresión es inversamente proporcional a la relación agua-cemento; como se

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

muestra en la Tabla III.1, en donde se observa la capacidad del concreto a los 28 días elaborados con cemento tipo I y un curado normal (de 20 a 22 grados centígrados y humedad relativa de 85%).

RELACION A/C	RESISTENCIA A 28 DIAS kg/cm ²
0.35	500
0.38	450
0.43	400
0.48	350
0.54	300
0.62	250
0.70	200
0.80	150

Tabla III.1 Relación agua-cemento para diferentes resistencias a 28 días.

Esto significa que si todas las variables (cantidad de agua, proporción de agregados gruesos y finos, curado) se mantienen constantes, la resistencia del concreto dependerá exclusivamente de la cantidad de cemento, hasta donde se permita la completa maduración de éste.

Entre más fino es el cemento, más rápida será la obtención de resistencia del concreto que con él se elabore. Sin embargo después de un tiempo (60 días), la resistencia que se obtiene con estos cementos será similar a la obtenida con cualquier otro tipo

de cemento, ya que todos están elaborados con las mismas materias primas.

Otro factor a considerar, es el tamaño máximo del agregado. Se ha demostrado que, para una cierta cantidad de cemento, el esfuerzo a compresión del concreto es inversamente proporcional a éste.

El pavimento de concreto posee una superficie muy dura, que depende de la resistencia del material y que simplemente no puede ser alcanzada por el concreto asfáltico.

La resistencia a la compresión puede ser medida por medio de cilindros de concreto, colados y endurecidos en posición vertical, con su longitud igual a dos veces el diámetro. En general se utilizan especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso excede de 5 mm. El diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado del concreto.

Para la elaboración de las probetas de concreto se usarán moldes de lámina gruesa, o de un material no absorbente y rígido. La base de los moldes metálicos debe ser una placa lisa del mismo material.

Los especímenes se deben moldear inmediatamente después de obtenido y mezclado el concreto sobre una superficie horizontal rígida, nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, para lo cual generalmente se usa una charola de lámina.

La elaboración de especímenes adecuados requiere de una buena compactación, para lo cual se puede usar el método de vibrado o varillado dependiendo del revenimiento de la mezcla; pues si ésta es menor a los 8 cm se hará uso del vibrado, en caso contrario se usa el varillado.

El procedimiento del varillado consiste en colocar el concreto dentro del molde, en tres capas de aproximadamente igual volumen cada una. Para cada capa se reparten 25 penetraciones de una varilla lisa de 16 mm de diámetro y 600 mm

de longitud con un extremo redondeado. Debe cuidarse que la varilla no penetre más de 1 cm de la capa inferior; si ésta produce oquedades se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminarlas.

Después de la compactación se enrasa la superficie del concreto y se termina la superficie con una regla de madera o de metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios en mas de 3 mm.

Para evitar la evaporación del agua en los espécimenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, de preferencia con una placa no absorbente y no reactiva o con una tela de plástico resistente, durable e impermeable

Durante las primeras 24 horas después del moldeado, todos los especímenes de prueba deben almacenarse bajo una

temperatura ambiente de 16 a 27 grados centígrados y prevenir pérdidas de humedad en los mismos, para lo cual se les coloca en un medio suficientemente húmedo.

Los especímenes se desmoldan pasadas de 16 a 24 horas, se rotulan según su procedencia y la resistencia esperada, posteriormente se almacenan en un cuarto de curado.

Los especímenes que se van a probar a compresión deberán tener sus dos superficies extremas lo más planamente posibles.

El procedimiento que se sigue para probar los especímenes a compresión, hechos con el procedimiento antes descrito se resume a continuación:

La máquina de prueba debe tener la capacidad suficiente y ser accionada de manera que la carga sea aplicada en forma continua, sin intermitencias y sin impacto. Debe estar equipada con

dos bloques de acero, uno de ellos estará fijo, y el otro deberá tener asiento esférico.

Las pruebas a la compresión de los especímenes curados en húmedo deben ser hechas tan pronto como sea posible después de retirarlos del cuarto de curado. Las bases de los especímenes de prueba que no estén en un plano uniforme dentro de un rango de 0.25 mm deben ser cabeceados.

Se limpian las superficies de los bloques superiores e inferiores y las del espécimen de prueba; se coloca el espécimen sobre el bloque inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro del bloque de carga con asiento esférico; y mientras el bloque superior se baja hacia el espécimen, se gira lentamente su parte móvil a mano para obtener un contacto uniforme.

Se aplica la carga hasta que el espécimen falle y se registra la carga máxima soportada durante la prueba. Se debe describir el tipo de falla y la apariencia del concreto.

CAPITULO IV

EVALUACION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS

IV.1 EVALUACION DE PAVIMENTOS.

Para poder realizar la programación de las actividades de conservación de un pavimento rígido, es necesario tener un conocimiento del estado del mismo, a través de una serie de parámetros que definan sus principales características.

Los parámetros fundamentales objeto de una evaluación son:

- El estado de degradación superficial del pavimento: grietas, estado de las juntas, bombeo de finos a la superficie, defectos localizados, entre otros.**
- Las características superficiales tales como la resistencia al deslizamiento y la regularidad superficial.**
- El movimiento de las losas y su capacidad de carga.**

La evaluación de estos parámetros debe realizarse con una periodicidad anual, aunque una vez estabilizado el comportamiento del pavimento, puede aumentarse el plazo hasta 3 años en vías principales y 5 en vías secundarias.

La evaluación puede consistir únicamente en inspecciones visuales o también en el empleo de aparatos de medida de gran rendimiento.

Las inspecciones visuales deben llevarse a cabo preferentemente al final del invierno o al principio de la primavera,

que es cuando las juntas y grietas estan más abiertas. Es preferible escoger un período de buen tiempo inmediatamente después de un período de lluvias, pues las fisuras se reflejan nítidamente en la superficie del pavimento al conservarse húmedas durante más tiempo.

Para que sean realmente efectivas, las inspecciones visuales deben realizarse por personal especializado y ser sistemáticas, para poder comparar objetivamente los resultados obtenidos en distintas campañas realizadas en una misma zona, a fin de seguir la evolución de los defectos que se produzcan.

Para llevar a cabo las inspecciones visuales con equipo de gran rendimiento, se pueden utilizar cámaras de filmación en vehículos recorriendo toda la carretera y filmando el pavimento, para posteriormente analizar la película con ayuda de computadoras que marcan los defectos superficiales.

Las características antideslizantes del pavimento se pueden medir con aparatos que registran la resistencia del pavimento al movimiento de una rueda.

La evolución de la regularidad superficial del pavimento se define como la mayor o menor aproximación del perfil real al teórico, es un parámetro de gran importancia al suministrar, no solo información acerca de la comodidad de rodadura para el usuario, sino también sobre el grado de deterioro del pavimento.

En cuanto a la capacidad de carga de las losas, los sistemas de medición de ésta se basan en la aplicación de una carga y en la respuesta de la estructura. La información suministrada tiene una amplia gama de aplicaciones:

- Como valor característico de la deformabilidad del pavimento que permite determinar la capacidad resistente real del mismo en el momento de la evaluación.

- Como dato de entrada en los métodos analíticos del cálculo de tensiones y deformaciones de una losa por efecto de la aplicación de una carga tipo.
- Como parámetro de evaluación de la necesidad de actuación, y en su caso para la determinación de las soluciones de refuerzo más convenientes.
- Como método de estudio de la homogeneidad de tramos de carreteras.

Estos datos obtenidos en los estudios deben ser analizados con objeto de determinar las causas posibles de defectos registrados en el pavimento. Para que este análisis sea realmente eficaz, no basta con suministrar los datos resultantes de una prueba aislada, sino que es necesario disponer de:

- Datos de estudios anteriores para determinar la evolución de los distintos pavimentos.
- Datos de proyecto de la carretera.
- Datos de ejecución del pavimento y de los elementos subyacentes.

- Estado de los elementos auxiliares del pavimento, como por ejemplo el drenaje.
- Datos de operaciones de mantenimiento realizadas con anterioridad.
- Tránsito soportado y previsiones de crecimiento del mismo.
- Climatología de la zona.

Toda esta información es vaciada a un banco de datos, que permitirá tomar decisiones encaminadas a la corrección, conservación o rehabilitación, según sea el caso.

IV.2 CONSERVACION DE PAVIMENTOS

Las experiencias obtenidas en el comportamiento de los pavimentos rígidos, han demostrado que éstos requieren un mantenimiento inferior al de los pavimentos flexibles. Con frecuencia se habla de esta ventaja, pero muchos la han sobrestimado y así se pueden observar una gran cantidad de proyectos de concreto con un comportamiento actual inferior al esperado por un descuido absoluto de su conservación. Por otra

parte, la cantidad de mantenimiento necesario para un pavimento de concreto determinado, como para cualquier obra, depende de la calidad de su diseño y de su construcción. Por muy bueno que sea el diseño y muy alta la calidad de construcción no están libres de fallas, porque aquel es solo una buena aproximación al comportamiento real del pavimento rígido y ésta se sujeta a las limitaciones de la condición humana para controlar todas las variables que intervienen en la ejecución.

La supervisión juega un papel muy importante en el comportamiento de los pavimentos rígidos, ella es responsable de que los errores estén dentro de las tolerancias especificadas y que las posibles fallas de concepción y ejecución queden reducidas a un mínimo. Ahora bien, debe entenderse por supervisión, no solo aquella que se realiza hasta el momento en que se entrega la obra, sino también aquella que continuará durante toda la vida útil del pavimento, haciendo evaluaciones periódicas de su comportamiento y estableciendo las bases del mantenimiento, para que éste actúe oportunamente y conserve el pavimento en buenas condiciones de funcionamiento a lo largo de su vida útil y con el menor costo posible.

Para poder hablar de mantenimiento, es necesario conocer las fallas más comunes en los pavimentos de concreto, sus causas y la forma de repararlas convenientemente.

IV.2.1 FALLAS TIPICAS Y SUS CAUSAS GENERALES

La determinación de las causas que producen las fallas en los pavimentos rígidos, puede ser tan simple que solo baste un reconocimiento superficial de la falla, o tan compleja, que se requiera un examen profundo de la falla, auxiliado por ensayos de laboratorio. Las características superficiales de la falla, son generalmente indicadoras de los factores que posiblemente la causaron. En base a lo anterior y sin entrar en mayores detalles para un dictamen definitivo, se presenta a continuación a manera de gusa, una lista de fallas típicas de los pavimentos de concreto, acompañadas de sus respectivas causas generales.

a) Deterioro del Concreto

Durante el servicio del pavimento, se va presentando un desgaste normal en la superficie del concreto, que provoca primero una superficie pulida y posteriormente el descubrimiento del agregado. Por ciertas insuficiencias en las propiedades del concreto, se presenta un desgaste superficial mayor, acompañado de fisuras superficiales muy abundantes y de un desprendimiento de pedazos de concreto.

Si éste se presenta a temprana edad o inmediatamente después de terminado el pavimento, las deficiencias superficiales se deben a malas prácticas de compactación, acabados y curados del concreto; por ejemplo, si se sobrevibra el concreto hasta sangrarlo, en la superficie se alojará una cantidad mayor de cemento pero con una relación agua-cemento mucho mayor que tan pronto como se pierde el agua en exceso, las contracciones son muy grandes y producen un estrellamiento de la superficie y posteriormente el descascaramiento o el desgaste de la superficie; un curado deficiente provoca fisuras de fraguado; y con concreto de mala calidad, con el tiempo se presentará un desgaste excesivo. En estos casos, el concreto queda muy poroso y susceptible al

ataque del intemperismo. La congelación a temprana edad produce una desintegración completa del concreto.

Si el deterioro se presenta a largo plazo, pero muy acentuado, se debe a que el concreto no se diseñó para evitar el ataque de los sulfatos, la reacción álcali-agregado, el congelamiento, etc. Otra posible causa, es la mala calidad inicial del concreto mismo, sobre todo la mala calidad de los ingredientes (contaminados de polvos, materia orgánica, etc.). Este deterioro eventualmente desintegra al concreto.

b) Agrietamiento de la Losa

La principal causa del agrietamiento de la losa, es la contracción natural del concreto, pero existen otras causas como las que se mencionaron en el deterioro del concreto o como la falta de acoplamiento entre el apoyo y la losa, o en la fragilidad del apoyo.

1) Grietas Transversales muy Espaciadas.

Se puede deber a varias causas: a un diseño de distancias excesivas entre juntas, a curados deficientes, desacoplamiento de la losa con el apoyo, apoyo elástico y cargas pesadas, por acompañamiento con una junta de emergencia mal construida y por último, cuando se emplearon las juntas aserradas, se debió a que esta operación se realizó cuando las grietas ya se habían formado en algún punto afuera de la junta programada.

2) Grietas Transversales por Anclaje.

En los pavimentos para calles, se presenta el problema de las obras de drenaje como son: los pozos de visita y las alcantarillas. Estas producen un anclaje diferente a las losas del pavimento, por lo tanto, se deben aislar con juntas transversales, longitudinales y perimetrales. Si no se toma esta precaución, se producirán las grietas transversales por anclajes y estas a su vez producen grietas por acompañamiento en las losas adyacentes.

3) Grietas Longitudinales.

Cuando el apoyo contiene arcillas y el drenaje lateral es deficiente, la saturación activa las arcillas desacoplando el apoyo de la losa y al paso de los vehículos pesados, la losa se agrieta longitudinalmente. Otras posibles causas de este agrietamiento son el pandeo excesivo de la losa o un apoyo muy elástico.

4) Grietas Cercanas a las Juntas Transversales.

Cuando el refuerzo y/o el sello no dejan contraerse libremente a las losas, se generan grietas cercanas a las juntas transversales. Se puede deber también a que la profundidad de la ranura es insuficiente y en el caso de las cortadas, se debe a que se aserraron cuando estaban a punto de generarse las grietas transversales y en un punto dado, durante el aserrado, se ha debilitado la losa lo suficiente para que aparezca la grieta antes de que se termine de aserrar.

5) Grietas Cercanas a las Juntas Longitudinales.

Se deben a un exceso de refuerzo con barras de sujeción cuando la ranura longitudinal es insertada o aserrada, o se debe a que el equipo pesado de construcción se apoyó en la losa contigua con un cierto grado de endurecimiento, pero incapaz de soportar las cargas impuestas por este equipo.

c) Rompimiento de la Losa

A diferencia de las grietas, las fracturas de las losas se deben a la incapacidad de ésta para soportar las cargas de tránsito, o a la fragilidad, elasticidad o desacoplamiento del apoyo. La fractura o rompimiento se genera cuando los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito son mayores que la resistencia a la flexión.

1) Incapacidad de la Losa.

Cuando por fallas de diseño no se obtuvo un espesor suficiente para soportar las cargas en cualquier punto de la losa, la fractura se presentará cercana a la junta transversal o en la esquina de la losa.

2) Agrietamiento de la Losa.

Si el pavimento se diseñó con refuerzo en las juntas y aparecen grietas por las razones mencionadas en el inciso (b), seguramente las aberturas de éstas no se controlarán y como consecuencia no habrá transmisión de carga, quedando insuficiente el espesor de la losa en la zona de la grieta y al paso de las cargas se romperá.

3) Incapacidad del Apoyo.

Por no obtenerse el módulo de reacción especificado en el diseño debido a una compactación insuficiente o por perder sus características de apoyo por saturación de agua (apoyos plásticos y frágiles), el espesor de diseño de la losa es insuficiente y se fractura con el paso de las cargas pesadas.

4) Desacoplamiento del Apoyo.

La erosión debida a un mal drenaje del pavimento, o por el "fenómeno de bombeo", la losa queda sin apoyo en sus zonas críticas (juntas) y posteriormente al paso de

las cargas, se rompen las losas a uno y otro lado, más o menos paralelas a la junta transversal.

d) Alabeo de la Losa

Cuando el fenómeno de alabeo es excesivo, la losa se deforma, desacoplándose del apoyo. Si está acompañado de la expansión de los materiales colocados en el apoyo, existirá una cierta sustentación, pero la deformación superficial hará muy incomodo el paso de los vehículos. Si no existe tal sustentación, las cargas del tránsito y el peso de la losa producirán las fallas estructurales.

e) Movimientos de las Losas

Debido a las fuerzas verticales y horizontales del tránsito, a una mala calidad de juntas y a un apoyo frágil, las losas de concreto están sujetas a un movimiento horizontal como deslizamientos, sobreelevaciones en las juntas y giros, resultando una superficie irregular e incomoda para el paso de los vehículos.

Una junta que no tiene refuerzo, con el tiempo tendrá desplazamientos verticales diferentes a las losas adyacentes, causando una sobreelevación y exponiendo a las juntas a impactos no previstos en el diseño. La zona cercana a estas juntas sufrirá perturbaciones que se transmitirán a la subbase y con el tiempo harán que esta se contamine con el material de la subrasante por consolidación y por penetración; el sello se desprenderá y permitirá el paso de la humedad y posiblemente se inicie el fenómeno de bombeo que erosionará al apoyo y posteriormente ocurrirá la falla estructural.

Las fuerzas horizontales de tracción y de frenaje, pueden deslizar a la losa en las zonas de máxima intensidad de estas fuerzas si no se sujetan adecuadamente entre sí, y si existe un apoyo sobresaturado que lubrique el contacto losa-apoyo. Estos deslizamientos abren excesivamente a las juntas sin sujeción, rompiendo el sello y exponiendo al pavimento a otros factores discutidos anteriormente.

f) Despostillamiento de la Losa

Una mala limpieza de la junta antes de sellarla o resellarla, permite que queden atrapadas partículas incompresibles dentro de la ranura que va a obstaculizar las expansiones, generándose esfuerzos concentrados en las caras de la junta y muy cercanos a la superficie. Estos esfuerzos pueden ser tan grandes que hacen fallar en forma de cuñas superficiales a la losa de concreto.

g) Otras Fallas

Existen fallas primarias que no dependen de la calidad del pavimento directamente, pero afectan su comportamiento futuro. Algunas de ellas son:

1) Mantenimiento Nulo o Deficiente.

Las juntas son las que generalmente requieren un mantenimiento inmediato y cuidadoso. El sello está expuesto a romperse o desprenderse con el tiempo y más pronto, mientras menor calidad de construcción de juntas se haya empleado. Un descuido en su mantenimiento, expondrá al pavimento a las fallas

f) Despostillamiento de la Losa

Una mala limpieza de la junta antes de sellarla o resellarla, permite que queden atrapadas partículas incompresibles dentro de la ranura que va a obstaculizar las expansiones, generándose esfuerzos concentrados en las caras de la junta y muy cercanos a la superficie. Estos esfuerzos pueden ser tan grandes que hacen fallar en forma de cuñas superficiales a la losa de concreto.

g) Otras Fallas

Existen fallas primarias que no dependen de la calidad del pavimento directamente, pero afectan su comportamiento futuro. Algunas de ellas son:

1) Mantenimiento Nulo o Deficiente.

Las juntas son las que generalmente requieren un mantenimiento inmediato y cuidadoso. El sello está expuesto a romperse o desprenderse con el tiempo y más pronto, mientras menor calidad de construcción de juntas se haya empleado. Un descuido en su mantenimiento, expondrá al pavimento a las fallas

anteriores. Una grieta sin reparación es como una junta sin sello y sin refuerzo.

Se pueden dar muchos ejemplos de la forma en que la falta de mantenimiento afecta al pavimento, por lo cual, el mantenimiento deficiente se debe considerar como una falla que le esta restando vida útil al pavimento.

2) Drenaje Deficiente.

Aún cuando la subbase funciona adecuadamente como dren para evitar las saturaciones de agua del material del apoyo del pavimento, si no existe un buen sistema de drenaje lateral (cunetas, alcantarillas, etc.) no se podrá evitar dicha saturación, que puede producir desde fuertes cambios volumétricos en el apoyo, que se reflejarán en el pavimento, hasta fallas de talud y fragilidad excesiva que causen fallas totales en el pavimento.

3) Fatiga.

Las investigaciones de fatiga del concreto, han determinado que la repetición de cargas que someten a la losa de concreto a esfuerzos críticos inferiores a su

resistencia a la flexión, la harán fallar de manera dúctil, presentando un agrietamiento gradual más o menos concéntrico al punto crítico (sobre una junta transversal) y si esto sucede en el tiempo previsto, significará que el pavimento se diseñó, se construyó y puede decirse que la falla de fatiga a su debido tiempo, es la falla natural en el buen comportamiento del pavimento.

IV.2.2 CONSERVACION Y REHABILITACION

Para mantener en buen estado el pavimento y garantizar la seguridad vial, a veces son necesarias la realización de pequeñas medidas preventivas inmediatas. Estas medidas de conservación, que generalmente requieren el empleo de poca maquinaria, van encaminadas a la conservación de juntas, la eliminación de pequeños defectos superficiales, el tratamiento de fisuras ocasionales, la nivelación de pequeños escalonamientos, el mantenimiento del drenaje del pavimento, la realización de tratamientos superficiales, etc.

Por lo general el proceso de conservación más extendido es el tratamiento de juntas. El sellado de las mismas tiene por objeto

impedir la entrada de agua hacia la subbase, evitando el peligro de que se acumule bajo las losas y dé lugar a la formación de oquedades o a fenómenos de bombeo de finos. Asimismo, el sellado de juntas impide la entrada de partículas sólidas que dificulten el libre juego entre losas, provocando daños en la superficie y en los bordes de las mismas. El tratamiento de juntas consiste, esencialmente, en la retirada periódica de la masa de sellado antigua y el relleno de la junta con un nuevo material.

Otra actuación de conservación muy común es la rehabilitación y reposición de sistemas de drenaje del firme, para garantizar que el agua que pueda penetrar tenga escapes laterales.

Las medidas de rehabilitación son operaciones que exceden con creces las de conservación. Debido al efecto que producen sobre la funcionalidad del pavimento de concreto, deben ser adaptadas a las características del mismo y a las causas que han provocado los daños.

a) Descarnaduras

Cuando la descarnadura ha rebasado un cierto límite, del orden de 10 mm, es necesario reemplazar el concreto perdido y/o dañado. La solución más frecuente es el relleno de la zona dañada con un material que permita su utilización en capas delgadas. El tipo de material a emplear dependerá de la profundidad del tratamiento; hasta 30 mm se emplean morteros y para espesores superiores, concretos de granulometría fina con un tamaño máximo de 10 mm.

Las descarnaduras que vayan a ser reparadas deben de quedar holgadamente incluidas en un rectángulo o cuadrado en el que existe una separación mínima de 50 mm entre el borde del mismo y la zona dañada. Las dimensiones mínimas de este cuadrado deben ser de 15x15 cm. El perímetro se marca mediante serrado en una profundidad de 20-30 mm, o bien mediante martillo hidroneumático, que deja una superficie de corte más rugosa que favorece la adherencia del material de reparación.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

Se elimina el material incluido dentro del perímetro marcado, en una profundidad no inferior a 20 mm y en cualquier caso hasta que se haya eliminado completamente el concreto defectuoso, cuidándose que el fondo quede lo más plano posible.

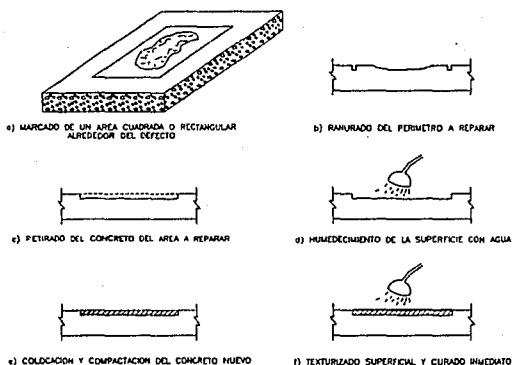


Fig. IV.1 Reparación de una descamadura.

Si el parche fuera de mortero de cemento o concreto, después de una cuidadosa limpieza con aire comprimido, se saturan las paredes y el fondo con agua, para lo cual se debe dejar el hueco lleno de agua durante varias horas. Antes de aplicar el mortero o

el concreto, se elimina el agua y se aplica una lechada de cemento para mejorar la adherencia.

Una vez vertido el material de relleno con un exceso de 20%, se compacta por medio de un vibrador, prestando una especial atención a la compactación de esquinas y bordes para asegurar la unión con el concreto del pavimento; una vez dotado de la debida textura, se cura inmediatamente. En el caso de atravesarse una junta debe preverse su reposición mediante moldeo, así como su sellado posterior.

b) Defectos en las Juntas.

1) Sellado de las Juntas.

La misión de los productos de sellado de las juntas es impedir la entrada de cuerpos duros en ella, que podrían astillar sus bordes por fenómenos de dilatación térmica de las losas, de polvo y lodo, que podrían acuniarlas y sobre todo, estos productos deben evitar la infiltración de agua que reblandezca o erosione las capas situadas bajo la losa del pavimento.

Los principales fallos relacionados con los productos de sellado de juntas son el agrietamiento del material o su despegue de los labios de la junta, producido por el envejecimiento del producto y favorecido por las bajas temperaturas del invierno, momento en que el sellante se hace quebradizo y la junta se abre, pudiéndose perder la adherencia con el concreto. Asimismo, cuando las dimensiones transversales de la junta son incorrectas, ha sido usado un producto de sellado inadecuado o defectuoso, o la junta ha sido rellena en exceso, el calor del verano puede producir una exudación del producto cuando el pavimento se dilata. En esta situación, el producto de sellado es vulnerable al tráfico y puede perderse.

La reparación consiste en retirar el producto de sellado antiguo, limpiar los bordes de la junta y sellar con un producto nuevo.

Se empieza retirando el antiguo producto de sellado, readaptando mediante corte o fresado, las dimensiones de la junta (7 a 10 mm de anchura, y 30 a 45 mm de profundidad) si éstas fueran escasas.

A continuación se limpian enérgicamente los bordes mediante cepillo de alambre, chorro de arena, y posterior soplado con aire a presión. Se coloca en el fondo de la junta un cordón de polipropileno que evite la adhesión del producto de sellado a lo que no sean los labios de la junta y, lo que es peor, la pérdida de un material muy caro por el fondo de la misma, y se procede a imprimir los labios con un producto adecuado.

El material sellante puede aplicarse, por vertido o pistola, en frío o en caliente, según su naturaleza, de manera que no queden atrapadas burbujas, ni se derrame por fuera de los labios de la junta, quedando unos 5 mm por debajo de la superficie. Si ésta tuviera una fuerte inclinación y el material se aplicara por vertimiento en forma muy fluída, podrían presentarse problemas de rebosamiento, que pueden disimularse estableciendo compartimientos cortos a lo largo de la junta que se sella, mediante diques del mismo material.

2) Desperfectos en los bordes.

Los desperfectos superficiales conviene repararlos con cierta urgencia, antes que el astillado progrese más allá de 20 mm de profundidad. El método de reparación es similar al empleado para las descarnaduras, si bien no conviene aserrar el perímetro a fin de mejorar la adherencia con la zona no dañada. Es necesario evitar que el material de relleno puentee la junta, para lo cual se dispone a modo de molde un listón compresible en un surco aserrado a lo largo de ésta con una profundidad superior en 10 mm a la del parche, una longitud que rebasa a la de éste por lo menos 100 mm a cada lado, y una anchura suficiente para abarcar toda la grieta coincidente con la junta. Una vez retirado el listón se tiene que sellar la junta así reparada.

Si el astillado es profundo y afecta más allá de la mitad del espesor de la losa, la reparación debe realizarse en todo el espesor de la misma, abarcando toda la zona deteriorada, ampliándola si es preciso a la vista de lo que se encuentre al demoler; de lo contrario, las zonas contiguas no rehabilitadas y que tuvieran defectos no

detectados se convertirían en las primeras fallas del pavimento rehabilitado.

La zona a sustituir debe tener forma cuadrada o rectangular, con lados paralelos o perpendiculares a la junta con una dimensión mínima de 1 m, marcándose por aserrado de al menos 40 mm de profundidad. Asimismo, la reparación debe llevarse hasta al menos 30 cm de la junta que está reparando, sin superar el metro, si se quiere considerar como reparación de un astillado y no como algo de más importancia. Si la reparación afectase de alguna forma a la junta longitudinal, se deben tomar las precauciones oportunas para repararla o restaurarla adecuadamente.

Las caras de la zona de reparación deben quedar lo más lisas y verticales posibles, para ello es recomendable aserrar el perímetro de reparación en todo su espesor, lo que permitirá remover a grandes trozos el concreto en lugar de por picado, lo que supondrá un gran ahorro de tiempo.

Cuando la zona a reparar es esbelta, con una relación entre sus dimensiones en planta superior a 2, es

conveniente armarla ligeramente mediante una malla paralela al eje de la carretera, con la cuantía mayor en sentido longitudinal a ésta, y con un recubrimiento mínimo de 50 mm.

Antes de verter el concreto de relleno deben repararse los posibles daños producidos en la capa de base. El concreto debe ser de una categoría similar al de la losa existente, y debe colocarse con un sobreespesor del 20%, compactándolo completamente por vibración interna y superficial, texturizándolo y curándolo como de costumbre. El empleo de concretos superplastificados, con una relación agua-cemento del orden de 0.37, simplifica notablemente la puesta en obra del material ya que no requieren casi compactación y endurecen con mucha mayor rapidez.

c) Defectos Estructurales

Los defectos estructurales son aquellos que pueden afectar a todo el espesor de la losa. La principal manifestación del fallo estructural de un pavimento rígido es la aparición de grietas, que puede ir precedida, en algunos casos, por corrimientos verticales de los bordes y juntas de las losas. Fallos que puede ser debidos a

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO

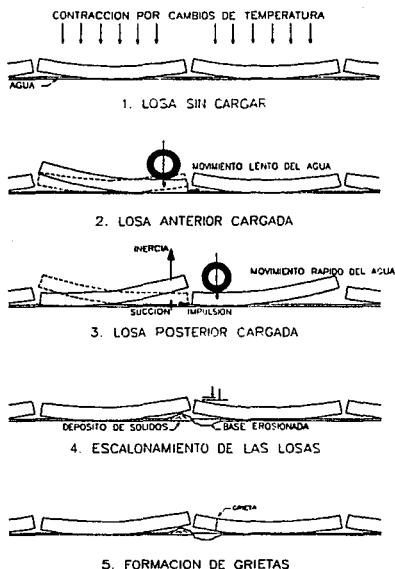


Fig. VI.2 Desarrollo del fenómeno de bombeo en pavimentos rígidos.

la existencia de asientos en el cimientto de la losa, bombeo de agua y finos en la interfase losa-base-acotamiento, o bien a la falta de transferencia de cargas entre losas. Menos frecuentes son las roturas por pandeo, causadas por expansión de las losas debido al

calor, en coincidencia con defectos de ejecución u otras circunstancias desfavorables.

1) Fisuración Transversal.

Si la fisuración es de espesor medio, con una abertura comprendida entre 0.5 y 1.5 mm, es suficiente con sellarla, procediendo a cimbrarla previamente (25 x 25 mm) mediante picado o serrado. Si se hubiese producido un deterioro en los labios de la grieta, es necesario reconstruirlos a base de mortero de cemento o de resinas. Para ello se cimbra la grieta, en una profundidad mínima de 3 cm, evitando ángulos agudos, y procurando que los bordes sean lo más rectos posibles. Es importante dejar una cimbra siguiendo la línea de la grieta, de manera que, una vez rehechos los labios, quede una nueva junta en la losa.

Cuando la grieta presente una abertura superior a 1.5 mm no queda más remedio que realizar una reparación a espesor completo de la losa, siguiendo los pasos que ya se han descrito. El ancho mínimo de la reparación debe ser de 1 m, y si está a menos de 1.5 m de una junta transversal deberá abarcar hasta ésta.

2) Fisuración de Esquinas.

La reparación de este tipo de fisuración pasa necesariamente por la reconstrucción, a espesor completo de la losa, de una zona rectangular que rebasa a la dañada al menos 30 cm por cada lado, achaflanando las esquinas y sellando las juntas próximas a la reparación si no lo estuvieran. Es necesario evitar que el borde longitudinal de la reparación caiga dentro de la zona de rodada, y que el parche coarte el movimiento de la losa principal. Para evitar esto último es necesario aislar la zona reparada, disponiendo en su perímetro un relleno compresible de 5 mm de espesor, y no introducir pasadores transversales.

3) Otro Tipo de Fisuración.

Otros posibles fenómenos de fisuración pueden producirse por aparición de grietas de retracción plástica, cortas y oblicuas, producidas durante el fraguado de la losa por un curado incorrecto y un descenso brusco de temperaturas entre el día y la noche. Esta fisuración al principio tiene poca importancia, pero, bajo la acción de sucesivos ciclos

térmicos e higroscópicos, puede llegar a abarcar toda la anchura y espesor de la losa, haciendo necesaria su reparación a espesor completo.

La existencia de servicios, tales como rejillas, pozos de visita, etc., en las proximidades de juntas o en zonas donde impiden el libre movimiento de las losas, producen una fisuración característica que nace en la discontinuidad y progresa hacia los bordes de las mismas. La solución de reparación dependerá, como ya hemos visto, del espesor e importancia de las fisuras, pero en cualquier caso será necesario aislar la discontinuidad mediante una junta compresible.

En otras condiciones, la grieta se debe a una falta de continuidad de la junta transversal entre carriles contiguos, apareciendo por un fenómeno de simpatía. El tratamiento de las mismas es similar al descrito para las fisuras transversales.

4) Movimientos Verticales de las Losas.

Las medidas que pueden llevarse a cabo para remediar los asientos o corrimientos verticales de los pavimentos de concreto, son los siguientes:

4.1) Drenaje del Borde de la Losa. El drenaje lateral bajo la junta losa-acotamiento, es la solución más eficaz y más utilizada para resolver el problema del bombeo de finos. Para ello se abre una zanja en el acotamiento, junto a la losa de concreto, de 30-50 cm de ancho con una profundidad ligeramente superior al espesor del pavimento, para facilitar la salida del agua. En ella se aloja un dren de P.V.C., perforado o ranurado, de 50 a 80 mm de diámetro protegido por un geotextil para evitar su contaminación por los finos procedentes de la capa de apoyo, y se rellena posteriormente con concreto poroso dejando los 5 cm superiores para colocar una capa de aglomerado asfáltico, a fin de evitar infiltraciones.

El sistema se completa con salidas laterales impermeables, del mismo diámetro y material, regularmente espaciadas (30 a 50 m) según el perfil

longitudinal de la carretera, que cruzan bajo el acotamiento hasta alcanzar la cuneta, el talud del terraplén o un sistema de drenaje. Este tubo se conecta al dren mediante una T, y cada 200 m se suprime ésta y se adopta un trazado curvo para facilitar la limpieza periódica del dren. Esta se lleva a cabo por medio de mangueras dotadas de una cabeza especialmente diseñada, que permite el avance de la manguera por el interior del dren impulsada por la presión del agua. De esta forma se arrastran los finos que hayan podido depositarse en el interior del mismo, dejándolo en perfectas condiciones de funcionamiento.

En algunas ocasiones, se suprime el tubo dren quedando así toda la función drenante encomendada al concreto poroso que rellena la zanja, o bien se dispone un acotamiento poroso formado por una base granular drenante. En ambos casos las características funcionales son suficientes, si bien no tan eficaces como la disposición del dren. El mantenimiento de este tipo de soluciones conserva limpia la salida del material drenante al exterior.

En la mayoría de los casos la solución del drenaje lateral produce resultados satisfactorios, pero en algunas ocasiones se produce el efecto contrario, acelerándose el proceso de bombeo de finos, provocado por un lavado rápido y una evacuación de los finos anteriormente acumulados en losa y base.

Por esta razón antes de instalar un drenaje lateral en un pavimento existente es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- No instalar un drenaje lateral en aquellas calzadas en las que el proceso de degradación es bastante avanzado. Como umbral límite puede tomarse la existencia de menos de un 10 % de losas fisuradas por fenómenos de bombeo, escalones entre losas inferiores a 3 mm, y escaso número de puntos de bombeo, como máximo uno cada 200 m.
- No disponer drenaje lateral cuando haya constancia de que la base del pavimento es muy erosionable.
- Concebir el dren "a posteriori", de manera que no exista una interacción sobre el modo de

funcionamiento mecánico de la estructura, evitándose abrir zanjas en las capas tratadas del firme.

4.2) Inyección de Mortero. La inyección de mortero bajo las losas tiene por objeto rellenar los huecos formados entre ella y la capa de base por fenómenos de bombeo, que produce una pérdida de contacto entre ambas, lo que conduce a la concentración de importantes tensiones en la losa y a su rápido agrietamiento. En ocasiones este procedimiento se emplea también para reponer las losas asentadas hasta su posición correcta, recuperando todo o parte del asiento permanente producido. En el caso de tener que levantar la losa mediante la inyección, sin la ayuda de gatos, la técnica es realmente complicada y es necesaria una extrema experiencia.

No deben inyectarse más que aquellas losas que presenten huecos bajo ellas, ya que la inyección de las bien apoyadas, además de ser inútil, puede resultar perjudicial al producir discontinuidades en el apoyo. Este hecho hace necesario que se realice una cuidadosa auscultación para la detección de unas y otras.

La inyección puede llevarse a cabo a presión o mediante vacío.

4.3) Levantamiento Mediante Gatos. Para corregir asientos permanentes de las losas puede emplearse la técnica de levantamiento mediante gatos hidráulicos, que según la entidad de la reparación, necesitan el apoyo o no de estructuras especiales al efecto. Los huecos que quedan bajo la losa, se inyectan con mortero de cemento-resina. La técnica es difícil y su éxito depende de la preparación de la operación y del control de la misma.

4.4) Fresado del Escalonamiento. El fresado de un firme escalonado suele ser una buena solución siempre que no se disminuya excesivamente su espesor, por lo que se utiliza cuando la falla estructural no es muy grande. Se puede llevar a cabo con o sin relleno previo de los huecos por inyección. El sistema permite no solo disminuir las molestias al tránsito, sino también evitar el efecto dinámico, que sobre el conjunto losa-base, producen los camiones al pasar sobre los escalones.

4.5) Soporte Lateral. Para reducir el efecto de las cargas situadas cerca del borde de la losa, y reducir las infiltraciones de agua a través de éste, causa de las surgencias y de la consiguiente pérdida de apoyo, conviene alejar el borde de la losa del borde del carril. Esto, que se hace fácilmente en pavimentos nuevos sin más que dotarlos de un cierto sobreechanco, también puede realizarse en pavimentos existentes, a través de dos técnicas:

- construcción de un acotamiento de concreto, y
- establecimiento de una viga de borde.

Tanto la losa del acotamiento como la viga de borde requieren una buena conexión con la losa del pavimento, a través de barras de unión corrugadas de 12 ó 16 mm de diámetro y 50 cm de longitud, recibidas con lechada, con separaciones de 30 cm, en las proximidades de juntas transversales, y de 60 cm en el resto de la losa.

El acotamiento de concreto no requiere pasadores ni sellado en sus juntas transversales, pero si que éstas

coincidan con las del pavimento. Su espesor junto a la losa del pavimento debe ser igual a la de éste, pero puede disminuirse hasta 15 cm en su borde exterior, para reducir su costo.

La viga de borde debe tener un ancho mínimo de 60 cm y un canto no inferior al espesor de la losa contigua, o superior a él hasta 15 cm, y estar dotada de juntas, sin pasadores, en correspondencia con las transversales del pavimento.

5) Pandeo.

La reparación de un fenómeno de pandeo debe abarcar todo el espesor y ancho de la losa, y sus límites deben quedar verticales y perpendiculares al eje de la carretera, pudiendo aprovechar como tales algunas juntas existentes.

Conviene emplear un concreto aireado y superplastificado, con una relación agua-cemento inferior a 0.4, en el que deben extremarse las condiciones de curado aplicando, si es posible, con dos capas de producto de curado mejor que una. La

apertura al tráfico puede hacerse a las 24 hrs. si se ha alcanzado la resistencia necesaria, aunque este plazo puede ampliarse, hasta tres veces, si las temperaturas se mantienen por debajo de 20 grados centígrados.

IV.2.3 REFUERZO

El refuerzo de pavimento de concreto se lleva a cabo cuando existe en el una situación de degradación tal que no justifica la realización de operaciones de conservación o rehabilitación, y suele realizarse mediante su recubrimiento con una nueva capa. Esta puede ser de concreto hidráulico o de carpeta asfáltica.

Los refuerzos con concreto se llevan a cabo utilizando una amplia gama de soluciones: pavimentos de concreto simple, armados con juntas, armados contínuos, reforzados con fibras, pretensados y compactados con rodillo.

Antes de extender el recubrimiento se realizan trabajos preparatorios en el concreto antiguo que, fundamentalmente consisten en: la rotura de las antiguas losas mediante impacto de grandes masas, o por el paso de pesados compactadores

vibratorios, cuando en el pavimento antiguo se han producido fenómenos de bombeo o asentamientos considerables. El tamaño de los pedazos resultantes no deben sobrepasar el metro cuadrado, y es necesario estabilizarlos posteriormente mediante una adecuada compactación, para asegurar una adecuada transmisión de cargas entre ellos.

Como alternativa en el caso del bombeo, se pueden estabilizar las losas mediante inyección de mortero en los huecos existentes bajo ellas.

Cuando el diseño del refuerzo no toma en cuenta la contribución estructural del pavimento existente, se suele interponer una capa aislante entre ambos o bien eliminar éste último.

En el caso de emplearse como capa de refuerzo el concreto simple, se deben tener algunas precauciones:

- Las juntas del recubrimiento deben coincidir con las del pavimento antiguo, a no ser que se utilice una capa de reperfilado.
- La longitud de las losas no debe ser mayor a 6 m, en el caso de que las losas antiguas sean mayores, se hacen juntas intermedias en las losas nuevas.
- Es conveniente sellar las juntas y fisuras con aberturas mayores a 3 mm.

El refuerzo de un pavimento de concreto puede también llevarse a cabo con carpetas asfálticas. Este tipo de refuerzo puede tener algunos problemas de mantenimiento originados por la reflexión incontrolada de grietas en la superficie, correspondientes con las juntas y fisuras del pavimento existente.

Para controlar estos fenómenos de reflexión suelen emplearse diferentes métodos tales como membranas de absorción de tensiones o serrado y sellado de juntas.

El método de serrado y sellado consiste en serrar juntas transversales y longitudinales en el refuerzo asfáltico, de manera que coincidan exactamente con las juntas de la losa existente, que posteriormente se sellan para evitar la entrada de agua que podría producir fenómenos de despegue entre la losa y la carpeta asfáltica, con lo que el refuerzo se deterioraría rápidamente bajo la acción del tráfico.

El sistema de serrado y sellado reduce la reflexión en aproximadamente un 60%, pero requiere de un especial cuidado en la localización de la junta serrada que debe coincidir con la junta existente, ya que de lo contrario, aparecen fisuras paralelas a la junta serrada en la carpeta.

Los refuerzos pueden clasificarse en dos grupos con respecto a su espesor, estos son los gruesos y los delgados. Los refuerzos gruesos son aquellos cuyo espesor es mayor a los 15 cm, y son refuerzos estructurales propiamente dichos. Los espesores más usuales en el caso de carreteras con alto tráfico, varían entre 22 y 24 cm para revestimientos de concreto simple con losas cortas, y entre 18 y 20 cm en recubrimientos de concreto armado continuo.

Los refuerzos delgados presentan espesores comprendidos entre los 3 y 15 cm. Este tipo de solución se utiliza principalmente para corregir defectos en el pavimento existente, aunque a nivel experimental se han utilizado como refuerzo. En este caso, al igual que en los refuerzos gruesos, es necesario hacer una evaluación de la capacidad de carga del pavimento antiguo.

Como refuerzos delgados pueden utilizarse:

- Losas cortas
- Losas largas ligeramente armadas
- Concreto con armado continuo
- Concreto armado con fibras
- Concreto con resinas sintéticas

Normalmente estas soluciones van adheridas al pavimento a reforzar, y la calidad de esta adherencia es determinante en el comportamiento del refuerzo, por lo que es necesario preparar la superficie existente mediante tratamientos adecuados. Asimismo es importante evitar que se produzcan variaciones en el espesor del

refuerzo, así como realizar un adecuado sellado de juntas y fisuras del pavimento existente, con objeto de evitar su reflexión o por lo menos alargarla en el tiempo.

La experiencia ha demostrado que los refuerzos gruesos se comportan mejor que los delgados.

Otra forma de clasificar los refuerzos es mediante el grado de adherencia entre la losa existente y el refuerzo. Estos pueden ser:

- Refuerzos adherentes, en los que el refuerzo se hace totalmente pegado al pavimento antiguo.
- Refuerzos no adherentes, también llamados separados, que tratan de evitar la unión entre ambos pavimentos.
- Refuerzos parcialmente adherentes, denominados también directos, porque el refuerzo se extiende directamente sobre el pavimento a reforzar y la adherencia existe aunque no es perfecta.

Los refuerzos adherentes constituyen el tratamiento adecuado para los casos donde el pavimento existente no representa grandes problemas estructurales y los desperfectos son del tipo superficial. Aunque la renovación superficial es su principal campo de aplicación, también se emplean para aumentar la capacidad estructural del pavimento existente.

Los espesores son generalmente reducidos, teniendo como límite inferior 3 cm de espesor, que es la frontera que separa los tratamientos superficiales de los refuerzos delgados.

Los refuerzos adherentes se pueden llevar a cabo tanto con carpetas asfálticas como con concreto simple o reforzados con fibras.

En cuanto a la técnica de ejecución se debe comenzar con un fresado de la superficie existente, del orden de 6 a 12 mm de profundidad, con objeto de eliminar todo lo que pueda disminuir la adherencia y proporcionar una textura adecuada y una buena regularidad. A continuación se procede a realizar un tratamiento

con chorro de arena, a fin de quitar todo el concreto que haya podido quedar debilitado durante el fresado. Tras una cuidadosa limpieza de la superficie, por ejemplo, con aire comprimido, se aplica un tratamiento adherente a base de ligantes, en el caso de carpeta asfáltica o de lechada de cemento o resina, en el caso de emplearse un refuerzo con concreto.

El refuerzo con adherencia parcial es una solución adecuada si el pavimento existente no tiene excesivas fisuras, debido al problema de reflexión de grietas. Espesor necesario de refuerzo es menor que en los no adherentes y algo mayor que en los totalmente adherentes, aunque en cualquier caso los espesores de los losas de refuerzo son superiores a los 12 cm. Las juntas deben coincidir con las del pavimento antiguo.

Los refuerzos no adherentes son indicados cuando el pavimento existente esta muy deteriorado. Aquí se evita toda adherencia empleando incluso una separación física, que puede ser desde una lámina de polietileno hasta una capa asfáltica, en cuyo caso ésta puede cumplir la misión de capa de regularización de las imperfecciones geométricas existentes. Naturalmente, con este

tipo de refuerzos no es preciso hacer coincidir las juntas de los pavimentos antiguo y nuevo, ya que la capa de separación impedirá la reflexión de las mismas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, se observaron algunas diferencias y ventajas entre los pavimentos construídos con CCR y los de Concreto Hidráulico Vibrado.

El Concreto Compactado con Rodillos se diferencia principalmente del Concreto Hidráulico Vibrado por su consistencia, pues ésta debe ser lo suficientemente seca para soportar al equipo de compactación y lo suficientemente húmeda

para permitir la distribución adecuada de la pasta ligante durante los procesos de mezclado y compactación.

En el CCR la resistencia queda determinada principalmente por el grado de compactación que se alcanza, más que por una adecuada relación agua-cemento, como es el caso del Concreto Hidráulico Vibrado.

Las principales ventajas del CCR sobre el Concreto Vibrado son las siguientes:

- 1.- Para una resistencia dada, el consumo de cemento es menor, ya que el CCR es una mezcla prácticamente seca al utilizar una relación agua-cemento muy baja.
- 2.- Para un consumo similar de cemento en los dos tipos de concreto, el CCR da una mayor resistencia.
- 3.- Al tener el CCR un consumo menor de cemento para una resistencia dada, da como resultado un menor costo en materiales por metro cúbico.

- 4.- Para un consumo dado de cemento, el CCR da una mayor resistencia, por lo que pueden utilizarse espesores de losa menores.
- 5.- El costo por acarreo del CCR es menor que el Concreto Vibrado, porque puede ser transportado en camiones de volteo.
- 6.- El rendimiento en la maquinaria utilizada para el CCR es mayor.
- 7.- El tiempo de construcción del CCR puede reducirse considerablemente, debido a los métodos de tendido y compactación del concreto.
- 8.- El CCR no requiere de cimbras para su colocación, al tener un revenimiento igual a cero.
- 9.- El CCR no requiere de juntas longitudinales.
- 10.- En los pavimentos de CCR el tiempo de apertura al tráfico normal es menor, y en ocasiones la apertura es inmediata.

11.- El CCR requiere menos mano de obra para su construcción.

12.- El espaciamiento entre juntas transversales es mayor en el caso del CCR, por lo que se simplifica el procedimiento de construcción a la vez de que se abarata el costo por este concepto.

Sin embargo el CCR tiene algunas desventajas sobre el Concreto Vibrado, como son:

1.- El CCR está limitado en su tamaño máximo de agregado, ya que utilizando un tamaño mayor a 3/4" da como resultado una textura muy abierta.

2.- Al ser el CCR una mezcla prácticamente seca, no permite un sangrado superficial al momento de la compactación, lo que produce una textura abierta que resulta incómoda al transitar a velocidades relativamente altas. Debido a esto, es necesario colocar una carpeta asfáltica sobre la losa de concreto en el caso de carreteras principales.

Existen algunas otras diferencias entre estos tipos de pavimento que no constituyen una verdadera ventaja de uno sobre otro, como son:

- 1.- El CCR presenta un revenimiento igual a cero a diferencia del Concreto Vibrado.
- 2.- La trabajabilidad del Concreto Vibrado se acostumbra medir con la prueba de revenimiento, mientras que para el CCR se usa la prueba VeBe.
- 3.- El CCR es más denso que el Concreto Vibrado, esto debido a el mayor contenido de finos en la mezcla y al mayor grado de compactación que se alcanza.

Como se pudo observar a lo largo de este trabajo, el CCR tiene muchas ventajas sobre el Concreto Vibrado, sin embargo no se debe pensar que en todos los casos esto sea así. Cada caso particular debe de ser estudiado para ver que tipo de pavimento es más conveniente. En cada obra se presentan aspectos diferentes que se deben analizar, como la disponibilidad del equipo de construcción, del personal capacitado, volúmenes a manejar, entre otros.

Hay que tomar en cuenta que el CCR se encuentra todavía en una etapa de desarrollo, y se espera que en el futuro se perfeccionen los procedimientos de construcción a fin de mejorarlo, sobre todo en lo que se refiere a su acabado superficial, eliminando así la sobrecarpeta asfáltica utilizada hasta ahora en el caso de carreteras de alta velocidad.

BIBLIOGRAFIA

PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y BASES DE CONCRETO. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, 1980.*

PRACTICA RECOMENDADA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, 1968.*

ESPECIFICACIONES PARA BASES Y PAVIMENTOS DE CONCRETO. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, 1968.*

APUNTES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO. Magaña, R.
Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1990.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

PAVIMENTOS DE HORMIGON COMPACTADO. PROYECTO, MATERIALES. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

MANUAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGON PARA VIAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRAFICO. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

CONSTRUCCION Y CONTROL DE FIRMES CON HORMIGON COMPACTADO. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE HORMIGON VIBRADO. MAQUINARIA Y METODOS DE EJECUCION. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

PROYECTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS (I). SECCIONES ESTRUCTURALES Y JUNTAS. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

PROYECTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS (II). BASES, DRENAJE DE FIRMES, ARCENES. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

CONSERVACION, REHABILITACION, REFUERZO Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE HORMIGON. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE HORMIGON VIBRADO. TERMINACION, CURADO, JUNTAS, REMATES. Kraemer, C., Jofré, C. *IMCYC, Seminario Internacional Pavimentos de Concreto Hidráulico, México, 1991.*

CARRETERAS DE CCR... LA MEJOR SOLUCION. Figueroa, D. *Construcción y Tecnología, México, 1989.*

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO VIBRADO Y COMPACTADO CON RODILLO**

**ESTUDIO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO, PARA
SU APLICACION A CARRETERAS. PRIMERA Y SEGUNDA PARTE.** Corro,
S., Prado, G. *Instituto de Ingenieria, UNAM, México, 1991.*

**RECOMMENDED PRACTICE FOR DESIGN OF CONCRETE
PAVEMENTS.** Finney, A., et. al. *American Concrete Institute, E.U., 1958.*

PAVIMENTOS DE CONCRETO. Méndez, G. *Instituto Mexicano del
Cemento y del Concreto, México, 1992.*

**ESTUDIO PARA NORMALIZAR EL DISEÑO, ELABORACION,
COLOCACION Y CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS DE CONCRETO
COMPACTADAS CON RODILLO (CCR), PARA SU USO EN LA
CONSTRUCCION Y REPARACION DE PAVIMENTOS.** SCT., *Dirección
General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones, México, 1990.*

**CONCRETO COMPACTADO RODILLADO, EN PRESAS Y
PAVIMENTOS.** Murillo, R., Torres, F. *SMMS, XV Reunión Nacional de
Mecánica de Suelos, México, 1990.*

**MECANICA DE SUELOS, TOMO I. Juárez, E., Rico, A. LIMUSA,
México, 1990.**