

**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, TRANSPORTE,
Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO**

**VICEMINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
UNIDAD DE INVESTIGACION
Y DESARROLLO VIAL**

INFORME TECNICO

**Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados
con el Concreto Compactado con Rodillo (CCR)
empleado en la construcción de pavimentos**

Elaborado por: César Adolfo Carrillo Vásquez, Ing. Civil.
Gerente Dpto. Auditoría de Calidad.

Víctor Iván Orellana*, Ing. Civil.
Unidad Técnica, Dpto. Auditoría de Calidad.

Coordinador: Daniel Antonio Hernández Flores, Ing. Civil.
Director, Unidad de Investigación y Desarrollo
Vial.

SAN SALVADOR, REPUBLICA DE EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2003.

OBSERVACION

El contenido de este documento refleja opiniones de los autores, quienes son responsables de los hechos y de la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales del Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. Este documento no constituye una norma, especificación ni regulación.

INDICE

| | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1.0 RESUMEN. | 1 |
| 2.0 ANTECEDENTES. | 1 |
| 3.0 GENERALIDADES DEL CCR. | 2 |
| 3.1 Equipo y ensayos de laboratorio. | 3 |
| 3.2 Métodos de diseño de la mezcla para CCR. | 3 |
| 3.3 Proceso constructivo. | 5 |
| 3.4 Efecto de la reflexión de fisuras. | 9 |
| 4.0 COMPARACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO ENTRE UN PAVIMENTO DE CCR Y OTRAS ALTERNATIVAS. | 10 |
| 5.0 COMPARACIÓN DEL COSTO DE CEPILLADO DE UNA CAPA DE CCR VRS. COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE SOBRE UNA CAPA DE CCR. | 14 |
| 6.0 CONCLUSIONES. | 15 |
| 7.0 RECOMENDACIONES. | 16 |
| 8.0 COMENTARIOS. | 17 |
| 9.0 REFERENCIAS. | 18 |

Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados con el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) empleado en la construcción de pavimentos.

1.0 Resumen.

La implementación de nuevas tecnologías para la construcción de carreteras, son cada vez más necesarias para dar respuesta a las exigencias de diversa índole en el sector vial, lo cual requiere de la investigación de las mismas para identificar aquellas que proporcionen la mejor solución. Por la importancia que este tipo de investigación representa para el desarrollo del país, el Viceministerio de Obras Públicas, a través de la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (VMOP - UIDV), incluye dentro de sus objetivos la ejecución de actividades orientadas a la investigación sobre las nuevas tecnologías que pueden utilizarse en la construcción y mantenimiento de carreteras.

En vista que actualmente la tecnología del Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es una alternativa que se está empleando en nuestro país, para la construcción de la estructura del pavimento del proyecto Paquete II Carretera “San Martín - San Rafael Cedros”, la UIDV-VMOP ha elaborado este informe técnico, con el objeto de proporcionar información orientada a conocer los atributos del CCR y su uso en la construcción de pavimentos. En lo sucesivo, para el desarrollo de este informe, se hará referencia a información relacionada a dicho proyecto, identificándolo como “Paquete II”.

Para llevar a cabo este informe, se utilizó información sobre artículos y temas de investigación relacionados con el concreto compactado con rodillo (CCR), específicamente del diseño de la mezcla, los procesos constructivos implementados y algunos efectos de la reflexión de fisuras del CCR en capas de rodadura de mezcla asfáltica. Así mismo, se llevó a cabo un análisis de costos (de construcción y mantenimiento) para comparar la alternativa del CCR, respecto a otras estructuras de pavimentos comúnmente utilizadas en la construcción de carreteras; así como también para comparar la alternativa de la colocación de una capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente sobre una capa de CCR, respecto a la alternativa de cepillado de dicha capa.

2.0 Antecedentes.

El concreto compactado con rodillo (CCR) es un material constituido por agregados, cemento, agua (en menor cantidad que para un concreto convencional) y aditivos (opcional). Su mayor uso ha sido en la construcción de presas donde es necesario el empleo de concreto masivo. Así mismo, se ha utilizado en la construcción de pavimentos, pistas de aeropuertos, protección de las márgenes de canales y en la construcción de fundaciones masivas.

En pavimentos existen antecedentes que datan del año 1930, cuando en Suecia se llevó a cabo una forma de concreto compactado con rodillo. En E.E.U.U., en 1942 se llevó a cabo el proyecto carretero en Yakima, Washington. Sin embargo, el mayor uso del CCR para la construcción de pavimentos en países como Canadá y E.E.U.U., data desde 1980. Debido a

ello, la técnica de CCR se considera relativamente reciente y su tecnología aún continúa evolucionando.

Actualmente en El Salvador, el Viceministerio de Obras Públicas ejecuta el proyecto Paquete II Carretera “San Martín - San Rafael Cedros”, el cual incluye como parte de la estructura del pavimento, la construcción de una capa de CCR de **20 cm** de espesor, en un tramo de **14.52 kilómetros** de longitud y dos carriles por sentido.

3.0 Generalidades del CCR.

El CCR es conocido comúnmente en la literatura como una mezcla de concreto de cemento Portland de cero revenimiento. Su espesor para uso en pavimentos comprende capas menores a 25 cm de espesor compactado. Así mismo, es importante mencionar que la técnica del CCR no utiliza dovelas, acero de refuerzo ni formaletas.

El CCR puede utilizarse como capa de rodadura; sin embargo, con el objeto de mejorar la regularidad superficial del pavimento (IRI), puede utilizarse una sobrecapa de mezcla asfáltica en caliente. Para el Paquete II, se ha considerado la construcción de una capa de rodadura de mezcla asfáltica de espesor **5 cm**.

Para disminuir el valor de IRI de un pavimento de CCR también puede emplearse el cepillado de la superficie. Para ello, se requiere maquinaria especializada que contiene un cabezal de corte con discos diamantados montados en forma paralela, los cuales desbastan la superficie. En función del costo de implementación de dicha técnica, ésta puede presentar algunas ventajas respecto a la colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente (ver numeral 5.0 de este informe).

Respecto a los componentes del CCR, los agregados pueden ser materiales procedentes o no de trituración y comprenden agregados gruesos (grava) y finos (arena), los cuales constituyen aproximadamente del 75% al 85% del volumen de la mezcla. El cemento a utilizar puede ser cemento Portland tipo I o tipo II, cuyo contenido en la mezcla oscila entre un 10% y un 17% por peso seco de los agregados.

La relación agua-cemento, comparada con el concreto convencional, presenta valores bajos, en el orden de 0.40. El empleo de aditivos en el CCR, se da generalmente cuando se requiere más tiempo en el proceso de tendido y compactación, por lo que se utilizan aditivos retardadores de fraguado.

Respecto a las propiedades ingenieriles del CCR, algunas fuentes de información técnica establecen que, de acuerdo al contenido de cemento utilizado en la mezcla, éste puede lograr una resistencia a la compresión y a la flexión (a 28 días de edad) en el orden de 250 kg/cm² hasta 350 kg/cm² y de 35 kg/cm² hasta 50 kg/cm², respectivamente.

La mezcla del CCR utilizada para el Paquete II, está compuesta por cemento portland tipo I (conocido comercialmente como CESSA 5000), que cumple con la norma AASHTO M 85, agregados grueso y fino procedentes de la trituración de material clasificado geológicamente como andesita, así como aditivo reductor de agua y retardante (conocido comercialmente como Pozzolith 300R). La dosificación de la mezcla es la siguiente:

| | |
|-----------------------|--------------------------|
| Cemento | 300 kg/m ³ |
| Agua | 135 kg/m ³ |
| Arena | 1041 kg/m ³ |
| Aditivo | 0.56 lts/ m ³ |
| Grava 1 (1" a 3/4") | 340 kg/m ³ |
| Grava 2 (3/4" a 1/2") | 342 kg/m ³ |
| Grava 3 (1/2" a 1/4") | 346 kg/m ³ |

La relación agua-cemento de dicha mezcla es de **0.45**, obteniéndose valores de resistencia a la compresión y a la flexión (a 28 días de edad) en el orden de **500 kg/cm²** y **64 kg/cm²**, respectivamente. Cabe indicar que de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del Paquete II, la resistencia a flexión mínima debe ser de 45 kg/ cm².

3.1 Equipo y ensayos de laboratorio.

Para el diseño de la mezcla del CCR y para el Control de Calidad durante la construcción del pavimento, se utiliza equipo de laboratorio y procedimientos de ensayo estandarizados por organizaciones reconocidas, como ASTM. Entre el equipo de laboratorio que se utiliza destacan el Consistómetro Vebe descrito en ACI 211.3 (Guide for Selecting Proportions for No Slump Concrete), martillo y moldes para ensayos de compactación de suelos descritos en ASTM D 1557 (Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort), mesa vibratoria para la elaboración de especímenes de vigas y cilindros (para determinar la resistencia a la flexión y compresión de la mezcla, respectivamente), densímetro nuclear, etc.

3.2 Métodos de diseño de la mezcla para CCR.

Los métodos utilizados en el diseño de la mezcla para CCR pueden ser los siguientes:

- **Dosificación por ensayos de consistencia.**

Este método está basado en el análisis de la trabajabilidad de la mezcla para CCR, de tal manera que esta pueda ser lo suficientemente seca para soportar el peso del equipo de compactación, y lo suficientemente húmeda para permitir una adecuada distribución de la pasta en toda la mezcla durante las operaciones de mezclado y compactación. El equipo de laboratorio utilizado para dicho análisis es el Consistómetro Vebe (ver fotografía 1), descrito en ACI 211.3, el cual está compuesto por una mesa vibratoria de frecuencia y amplitud fija y contenedores metálicos de volumen conocido.

El objetivo de los ensayos de laboratorio es medir el tiempo de vibración en segundos, requerido para consolidar la mezcla completamente. La norma de ensayo utilizada es ASTM C 1170 (Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table). Algunas investigaciones han determinado que el tiempo requerido para la consolidación de una mezcla para CCR debe oscilar entre 30 y 40 segundos.



Fotografía 1. Consistómetro Vebe, descrito en ACI 211.3.

- **Dosificación por ensayos de compactación por impacto.**

Este método está basado en la pérdida de resistencia en una mezcla para CCR, que puede ocurrir por un contenido de humedad arriba o abajo del valor óptimo, debido a la variación en la relación agua-cemento. El objetivo del método es establecer el valor del contenido óptimo de agua y de la densidad máxima para la mezcla de CCR, utilizando el método de ensayo ASTM D 1557 (Ver fotografía 2). Los valores obtenidos pueden utilizarse durante la construcción de la capa de CCR, con el objeto de verificar el grado de compactación de la misma.

Una vez determinado el contenido de humedad óptimo de la mezcla, se realizan variaciones en las proporciones de cemento, hasta seleccionar el contenido de cemento con el cual se alcance la resistencia requerida. Los procedimientos utilizados para la elaboración de los especímenes de ensayo, frecuentemente involucran el empleo de la mesa vibratoria o el procedimiento descrito en ASTM D 1557.



Fotografía 2. Equipo para ensayo ASTM D 1557 (Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort).

En el Paquete II, el diseño de la mezcla se basó en la dosificación por ensayos de compactación por impacto, tomando en cuenta las siguientes etapas:

- Determinación de la mejor relación de arena / agregados de la mezcla.
- Obtención del contenido óptimo de agua en la mezcla para alcanzar la compactación de diseño.
- Determinación del contenido óptimo de cemento en la mezcla para alcanzar la resistencia mínima especificada.
- Verificación de los resultados.

Para ello se elaboraron especímenes cilíndricos y vigas. Los especímenes de ensayo fueron elaborados utilizando una mesa vibratoria, con sobrecargas de **45 libras** para cilindros y **70 libras** para vigas.

3.3 Proceso constructivo.

- **Producción y transporte de la mezcla para CCR.**

La producción de la mezcla para CCR se lleva a cabo en plantas dosificadoras (ver fotografía 3), las cuales deben ubicarse tan cerca como sea posible del lugar donde se construye el pavimento, con el objeto de disminuir el tiempo de acarreo y con ello mantener las características de trabajabilidad de la mezcla. La capacidad de producción de algunas de estas plantas puede encontrarse entre **100 ton/hr** y **250 ton/hr**; sin embargo, en algunos casos, existen limitaciones en el rendimiento de las mismas, debido al tiempo que debe emplearse para la limpieza continua de las espas de mezclado, para efectos de retirar el concreto adherido.

La planta dosificadora utilizada en el Paquete II mantiene una producción promedio de aproximadamente **102 ton/hr**, realizándose la limpieza de las aspas de mezclado por cada 21 m^3 de concreto producido.



Fotografía 3. Proyecto: Paquete II. Planta dosificadora utilizada para la producción de la mezcla para CCR.

La mezcla puede transportarse al lugar de su colocación utilizando camiones de volteo y/o camiones mezcladores. Los camiones de volteo deben equiparse con cubiertas, para proteger la mezcla de los efectos adversos del medio ambiente, como pueden ser lluvia, viento, frío o calor. El equipo de transporte utilizado en el proyecto Paquete II, consiste en camiones de volteo de aproximadamente 7 m^3 de capacidad.

- **Colocación y compactación de la mezcla para CCR.**

Para la colocación y compactación de la mezcla para CCR, se emplea el mismo equipo que se utiliza para mezclas asfálticas; sin embargo, la máquina pavimentadora utilizada para la colocación de la mezcla, debe estar provista de dispositivos especiales que proporcionen un alto grado de compactación a la misma (ver fotografía 4). En el Paquete II, se utiliza una máquina pavimentadora Ingersoll Rand, tipo TITAN 325, la cual es capaz de densificar la mezcla al 94% de la densidad máxima obtenida por el método de ensayo ASTM D 1557, colocando 600 m^3 diarios (jornada continua de 12 horas).

De acuerdo a los datos técnicos de los fabricantes de la TITAN 325 EPM (Ingersoll - Rand ABG, Hameln, Alemania), dicha pavimentadora tiene capacidad de colocar más de 1,000

m³ por hora. En la Figura 1 se presenta un detalle del tren de colocación y compactación del CCR.



Fotografía 4. Proyecto: Paquete II. Colocación y compactación inicial de la mezcla para CCR , utilizando la máquina pavimentadora.

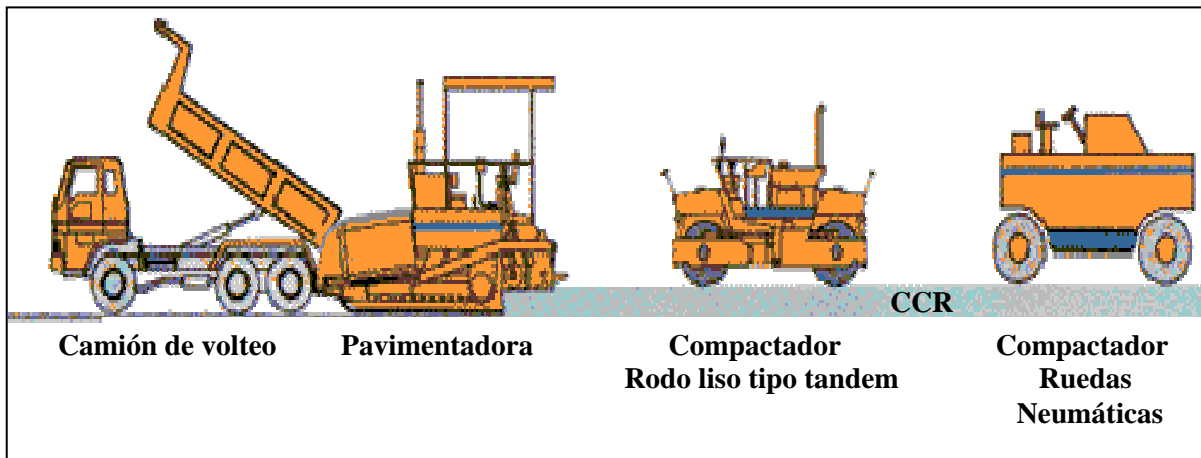


Figura 1. Tren de colocación y compactación del concreto compactado con rodillo.

Además de la densificación que proporciona la máquina pavimentadora a la mezcla para CCR, se utilizan rodos lisos tipo tandem de 10 ton de capacidad o mayores para su densificación final, y compactadoras neumáticas para lograr superficies con un mejor acabado. En el Paquete II, debido al alto grado de compactación obtenido por la pavimentadora utilizada en la construcción de la capa de CCR, se emplea un rodo liso tipo tandem de 12 toneladas para la densificación final. (Ver fotografía 5).

Para obtener el grado de compactación, preferiblemente deben utilizarse ensayos no destructivos, como por ejemplo el método nuclear (ver fotografía 5). Las Especificaciones Técnicas del Paquete II, establecen que el grado de compactación de la capa de CCR debe ser mayor al 97% de la densidad máxima obtenida por el método de ensayo ASTM D 1557.

Adicional al control del grado de compactación, también se realizan extracciones de núcleos de la capa compactada para determinar su densidad y la resistencia a la compresión simple de dichos núcleos. Así mismo, se realizan muestreos de la mezcla en el lugar de construcción de la capa de CCR, para elaborar especímenes que permitan verificar la densidad máxima de acuerdo al ensayo ASTM D 1557.



Fotografía 5. Proyecto: Paquete II. Compactación final con rodo liso y determinación de la densidad de campo de la capa de CCR, utilizando un densímetro nuclear.

- **Curado y construcción de juntas.**

Por el bajo contenido de agua de la mezcla de CCR, es necesario aplicar el curado de la superficie inmediatamente finalizada su compactación, con el objeto de alcanzar la resistencia requerida. Para ello, es conveniente curar el concreto utilizando agua, la cual debe aplicarse en forma de rocío sobre su superficie, normalmente durante un período de 7 días. La utilización de membranas de curado no es recomendable, en vista que en muchas ocasiones no se logra cubrir la superficie rugosa del concreto; adicionalmente esta puede ser dañada por las mismas actividades de construcción.

Cuando las condiciones del proyecto establecen la construcción de una capa de rodadura de mezcla asfáltica, sobre la capa de CCR, puede aplicarse un riego de material asfáltico (emulsión o rebajado) como procedimiento de curado, obteniendo resultados satisfactorios. El procedimiento de curado implementado en el Paquete II, consiste en el curado por aproximadamente 24 horas, mediante la aplicación de agua y posteriormente un riego de asfalto rebajado (RC 250) a una tasa de aplicación de 0.3 gal/m².

Las juntas transversales y longitudinales por contracción del CCR, usualmente no son construidas; sin embargo, cuando se dispone de ellas, éstas son tratadas utilizando los procedimientos empleados para concreto convencional (aserrado y sellado).

En el Paquete II, previo a iniciar la construcción de la capa de CCR, se realizó un tramo de prueba de 150 m, en el cual se determinó el patrón de compactación que debía implementarse y la distancia a la cual debían ubicarse los cortes para las juntas. Cabe mencionar que se prescindió de las juntas longitudinales, y únicamente se ubicaron juntas transversales a cada 18 m, aproximadamente. Sin embargo, actualmente se están realizando los cortes para juntas a 7 m y 9 m, debido a la presencia de fisuras transversales ubicadas entre juntas. Para el sello de los cortes en las juntas, se está utilizando un sellador derivado de petróleo, conocido comercialmente como Crafcó Polyflex Tipo 3.

3.4 Efecto de la reflexión de fisuras.

Cuando se construye una capa de rodadura de mezcla asfáltica sobre una capa de CCR, inevitablemente la carpeta asfáltica presentará fisuras, producto de la reflexión de las juntas, fisuras y grietas existentes en el CCR. En algunos casos, se considera innecesario emplear el sello de fisuras mientras exista poco deterioro, ya que su aplicación incrementa el valor de IRI; sin embargo, ante la evolución de las fisuras es conveniente sellarlas, específicamente cuando se presenta degradación de las paredes de las mismas.

Aunque se han utilizado distintas técnicas para impedir la reflexión de las fisuras, ninguna ha tenido éxito y en algunos casos únicamente se ha logrado demorar la aparición de las mismas. Entre algunas de estas técnicas se encuentran las siguientes:

- a) Impedir la adherencia entre las losas y la carpeta asfáltica en la zona de la junta, colocándose sobre el CCR un riego de arena de río (2 cm de espesor).
- b) Colocar una lámina de fieltro asfáltico extendido de 25 cm a 30 cm a cada lado de la junta.
- c) Armar el CCR con una malla de acero de 4.2 mm en un ancho de 50 cm a cada lado de la junta.
- d) Utilizar geotextiles como antireflexivo.

Algunas de las técnicas indicadas anteriormente fueron sugeridas por el Instituto del Asfalto de E.E.U.U. para pavimentos de concreto hidráulico; sin embargo, ninguna ha sido efectiva, únicamente se demoró la aparición de las fisuras cuando se utilizó la lámina de fieltro asfáltico.

En el Paquete II, no se ha considerado el uso de alguna de las técnicas indicadas anteriormente. En su lugar, se está considerando la posibilidad de sellar las fisuras en la capa de rodadura, utilizando para ello el mismo sellador que se empleó para las juntas de la capa de CCR (producto derivado de petróleo).

4.0 Comparación de costos de construcción y mantenimiento entre un pavimento de CCR y otras alternativas.

Para efectos de comparar los costos de construcción y mantenimiento de una estructura de pavimento que incluya una capa de CCR, respecto a otras alternativas, es necesario considerar las mismas condiciones de tráfico; es decir que las estructuras de pavimento a comparar, hallan sido obtenidas considerando las mismas condiciones de carga. Para ello, se tomó de base las diferentes alternativas de estructuras de pavimento (cuatro alternativas), que fueron proporcionadas como parte del diseño preliminar en el Informe de Rediseño de Pavimentos y Estudio de Materiales de Construcción del Paquete II (tramo del Est. 11+180 al Est. 25+700), con mantenimiento y período de diseño de 20 años.

Los parámetros de diseño del tramo, para las diferentes alternativas, se presentan en la Tabla 1.

| | |
|--------------------------|------------|
| Período de diseño: | 20 años |
| Longitud: | 7 km |
| TPDA: | 35,000 |
| ESAL a 20 años: | 17,645,898 |
| % de crecimiento: | 4.9% |
| Ancho de rodaje/sentido: | 7.30 m |

Tabla 1. Parámetros para el diseño de las estructuras del pavimento.

Las alternativas de estructuras de pavimento consideradas en el análisis de costos son las siguientes:

- **Alternativa 1.**

Compuesta de las siguientes capas (ver Figura 2):

Capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Capa de base de suelo-cemento (BSC).
 Capa de sub-base de suelo-cemento (SBSC).
 Capa de sub-base granular (SBG).

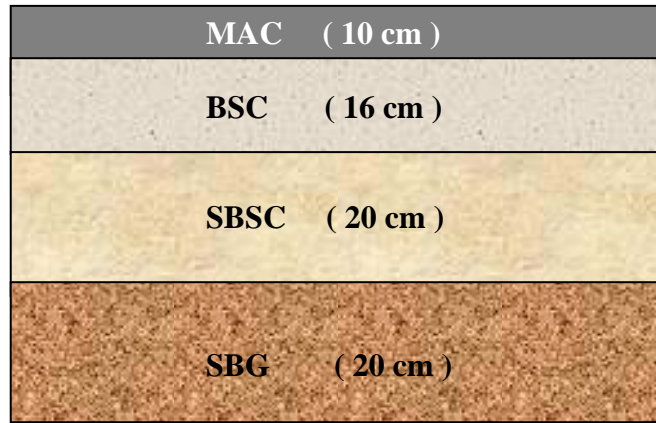


Figura 2. Estructura de pavimento Alternativa 1.

- **Alternativa 2.**

Compuesta de las siguientes capas (ver Figura 3):

Capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente (MAC).
 Capa de base de concreto compactado con rodillo (CCR).
 Capa de sub-base de suelo-cemento (SBSC).
 Capa de sub-base granular (SBG).

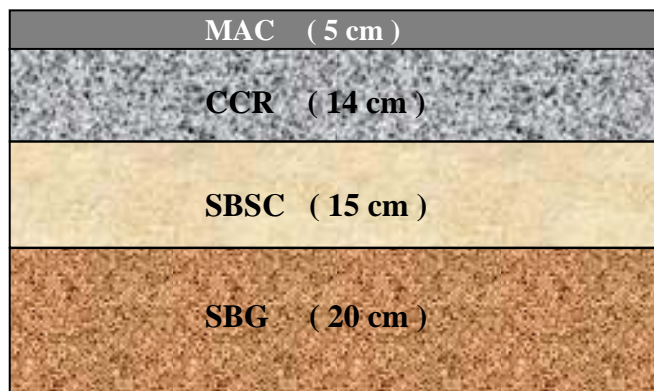


Figura 3. Estructura de pavimento Alternativa 2.

- **Alternativa 3.**

Compuesta de las siguientes capas (ver Figura 4):

Capa de rodadura de concreto hidráulico simple con juntas (JPCP).
Capa de sub-base granular (SBG).

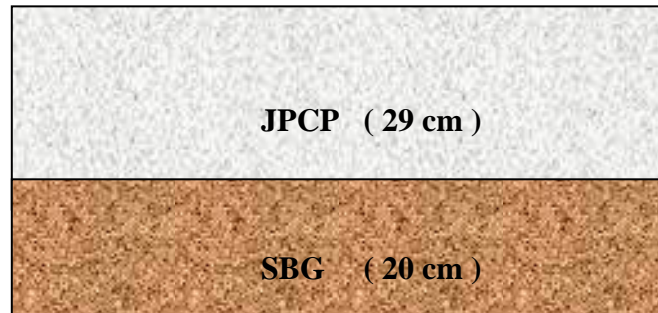


Figura 4. Estructura de pavimento Alternativa 3.

- **Alternativa 4.**

Compuesta de las siguientes capas (ver Figura 5):

Capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente (MAC).
Capa de base granular (BG).
Capa de sub-base granular (SBG).

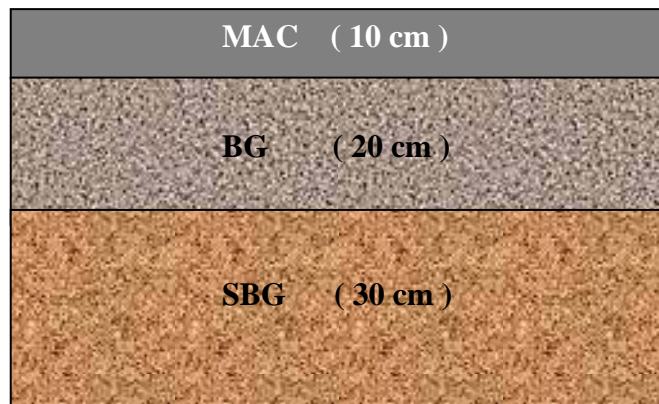
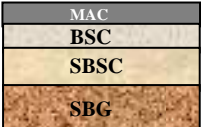
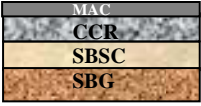
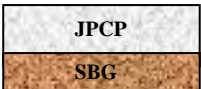
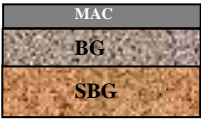


Figura 5. Estructura de pavimento Alternativa 4.

Los costos de construcción y mantenimiento (período de diseño de 20 años) para cada una de las alternativas se presentan en la Tabla 2. Dichos costos consideran actividades para el sellado de fisuras y bacheo de la capa de rodadura (para las alternativas 1, 2 y 4); sin embargo, en el caso de la alternativa 4 (mezcla asfáltica, base y sub-base granular), adicionalmente se consideró como costo de mantenimiento, la colocación en los primeros 10 años de dos capas de mezcla asfáltica en caliente de 5 cm de espesor cada una.

Evidentemente, es de esperar una mayor inversión en mantenimiento para la Alternativa 4, puesto que la estructura de pavimento es más susceptible al deterioro por los efectos del clima y las cargas de tráfico.

| Alternativa de Pavimento | Costo de Construcción/km (US\$) | Costo de Mantenimiento/km (US\$) | Costo Total/km (US\$) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Alternativa 1  | 466,212 (98.36%)* | 79,678 (101.22%)* | 545,890 (98.77%)* |
| Alternativa 2  | 473,967 | 78,717 | 552,684 |
| Alternativa 3  | 528,864 (111.58%)* | 23,953 (30.43%)* | 552,817 (100.02%)* |
| Alternativa 4  | 345,444 (72.88%)* | 316,204 (401.70%)* | 661,648 (119.72%)* |

* Porcentaje referido a los valores de costo obtenidos para la Alternativa 2.

Tabla 2. Costos de construcción y mantenimiento de diferentes alternativas de estructuras de pavimento para un período de diseño de 20 años.

Al comparar la información de la Tabla 2, se puede observar que la alternativa 2 (CCR), presenta un costo total similar a los obtenidos para las alternativas 1 (mezcla asfáltica y base de suelo cemento) y 3 (concreto hidráulico). Sin embargo, existe una diferencia considerable entre el costo total de la alternativa 2 (CCR) con respecto a la alternativa 4 (mezcla asfáltica y base granular), debido principalmente al costo de mantenimiento, el cual es aproximadamente 4 veces mayor que el de la alternativa 2.

5.0 Comparación del costo de cepillado de una capa de CCR vrs. colocación de mezcla asfáltica en caliente sobre una capa de CCR.

Para hacer la comparación de costos del cepillado de una capa de CCR vrs. colocación de mezcla asfáltica en caliente, se realizó una investigación de los precios de dichas actividades a nivel del mercado nacional, considerando el costo de una pasada de la máquina cepilladora por metro cuadrado de pavimento (costo promedio igual a US\$ 4.5/m²) vrs. el costo de colocar una capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente de 5 cm de espesor por metro cuadrado de pavimento (costo promedio igual a US\$ 6.25/m²).

Con base en lo anterior, se puede determinar que aún cuando se tenga que cepillar el ancho y longitud total de un tramo de carretera (en una pasada de la máquina cepilladora), el costo de colocación de una capa de mezcla asfáltica en caliente sería 1.4 veces mayor al costo del cepillado, lo cual coincide con algunas fuentes de información técnica, como el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), quienes han estimado que el cepillado de un pavimento de concreto hidráulico tiene un costo menor a la colocación de una mezcla asfáltica en caliente sobre el mismo.

Para el Paquete II, no se tiene contemplado el cepillado de la capa de CCR; sin embargo, algunas fuentes a nivel nacional, relacionadas con la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, al evaluar la condición de la capa de CCR de dicho proyecto, consideran que una pasada de la máquina cepilladora sería suficiente para obtener una regularidad superficial adecuada.

6.0 Conclusiones.

Con base en la información recopilada del empleo del CCR y su uso en la construcción de pavimentos, en El Salvador y en otras regiones, así como de la comparación de esta tecnología con otras alternativas de pavimentos comúnmente utilizadas, se concluye lo siguiente:

- a) El diseño de la mezcla para CCR es una de las etapas vitales para el éxito de la capa a construir, ya que las características de trabajabilidad de la mezcla inciden en la efectividad del equipo de construcción que se utilice.
- b) La construcción de una capa de CCR es relativamente rápida; sin embargo, dependerá en gran medida del rendimiento de la Planta de producción de la mezcla y de la experiencia del personal involucrado en las diferentes etapas de la construcción de la capa de CCR.
- c) Desde el punto de vista económico, el empleo del CCR en la construcción de una estructura de pavimento, representa una alternativa competitiva respecto a otras que han sido comúnmente utilizadas.
- d) No obstante que el CCR puede competir en economía y rapidez de construcción, debe considerarse que el mayor empleo de esta tecnología en pavimentos es reciente, y aún en los países donde ha sido más frecuente su uso, existen algunas interrogantes sobre el desempeño del mismo, en lo que respecta a la presencia de fisuras y la separación entre juntas.
- e) El empleo del CCR como capa de rodadura, presenta limitantes en la construcción de vías de alta velocidad, ya que difícilmente se obtienen valores de IRI adecuados. Para utilizarlo en este tipo de vías y lograr una mejor comodidad, usualmente se construye una capa de rodadura de mezcla asfáltica sobre la capa de CCR, o puede llevarse a cabo actividades de cepillado de la misma.
- f) El efecto de reflexión de fisuras en la capa de rodadura de mezcla asfáltica, construida sobre una capa de CCR, es prácticamente inevitable.
- g) En algunos casos puede que el cepillado de una capa de CCR requiera una sola pasada de la máquina cepilladora para mejorar la regularidad superficial de la misma, así como el empleo de dicha actividad exclusivamente en zonas puntuales, donde el valor de IRI sea deficiente. De ser así, es evidente que el cepillado sería más efectivo en función del costo, respecto a la colocación de una capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente.

7.0 Recomendaciones.

Considerando que el uso del CCR en pavimentos es una tecnología reciente y que la misma está iniciando su implementación en nuestro país, se recomienda lo siguiente:

- a) No generalizar el uso del CCR para la construcción de pavimentos, ya que la experiencia y literatura técnica internacional aún no reúne suficiente información, que permita comparar el desempeño de la estructura de este tipo de pavimento, con la calidad de la mezcla y los procesos constructivos empleados para el mismo, y con respecto a otras alternativas de pavimentos conocidas tradicionalmente.
- b) Con el objeto que las Empresas Constructoras, dedicadas a la construcción de carreteras en nuestro país, acumulen experiencia en el empleo de la tecnología del CCR, se puede considerar la construcción de proyectos de baja envergadura, lo cual permitirá crear antecedentes para implementar los procesos constructivos adecuados.
- c) Un elemento importante a considerar cuando se utiliza una capa de rodadura de mezcla asfáltica en caliente sobre una capa de CCR, debe ser el impacto que generan los retrasos en el usuario de la vía, cuando se lleven a cabo las actividades de mantenimiento de la misma. En su lugar, la técnica del cepillado de la capa de CCR durante la etapa constructiva, podría ser una alternativa de solución; sin embargo, se considera necesario un análisis de costos del empleo de esta técnica, en función de la condición de dicha capa.

8.0 Comentarios.

Cabe mencionar que dentro de las actividades de investigación que desarrolla la UIDV-VMOP, en el caso particular del pavimento del Paquete II que incluye CCR, se llevará a cabo un monitoreo del desempeño de dicho pavimento, con el objeto de recopilar información que sirva de referente para proyectos futuros. Las actividades planificadas tienen los siguientes objetivos específicos:

- Investigar las características generales del concreto compactado con rodillo (tipos de materiales y sus proporciones, métodos de diseño, propiedades ingenieriles, comportamiento estructural, etc.) y las normativas internacionales en lo referente al control de calidad de los materiales y a su procedimiento constructivo.
- Estudiar el comportamiento de la capa de mezcla asfáltica sobre la carpeta de concreto compactado con rodillo.
- Estudiar la variación con el tiempo de algunos factores relacionados con la capacidad estructural del pavimento y la funcionalidad de la vía.
- Realizar un análisis económico entre pavimentos de CCR, y de concreto asfáltico, con la finalidad de identificar cual de ambas alternativas es más rentable a largo plazo para la construcción de pavimentos en nuestra red vial.

9.0 Referencias.

1. ACI Committee 325. *Report on Roller-Compacted Concrete Pavements*. ACI 325.10R-95, American Concrete Institute, Reapproved 2001, 32 páginas.
2. ACI Committee 207. *Roller-Compacted Mass Concrete*. ACI 207.5R-99, American Concrete Institute, Ed. 1999, 47 páginas.
3. H.A. Todres, C.L. Wu and S.M. Tarr. *Improving Roller Compacted Concrete Pavement Technology: Construction*, PCA R & D Serial N° 2014. Research & Development Information Portland Cement Association, Ed. 1995, páginas 3 - 25.
4. B. Dorfman. *El Control de la Fisuración Refleja*. Centro de Transferencia de Tecnología del Instituto Panamericano de Carreteras. Boletín XXXII Reunión del Asfalto, Noviembre, 2002, páginas 13 - 20.
5. City of Columbus Public Service Department Transportation Division. *Supplemental Specification 1523 Roller Compacted Concrete Pavements (RCC)*, May 2002, 10 páginas.
6. Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. *Bidding Documents For The Project for Reconstruction of Major Transportation Infrastructure in El Salvador, Package II. Technical Specifications*, 2001, páginas T4-14 - T4-20.
7. Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. *Proyecto Rehabilitación Carretera El Litoral (CA2:E), Tramo El Delirio - La Unión. Estudio Técnico Financiero. Análisis del Costo del Ciclo de Vida (ACCV)*, Diciembre, 2002, 6 páginas.
8. Nippon Koei Co. LTD., NHA Compañía de Ingenieros, S.A., Louis Berger International, Inc., Katahira & Engineers International. *Programa de Reconstrucción de Grandes Obras para el Sector Transporte en El Salvador. Informe de Rediseño de Pavimentos y Estudio de Materiales de Construcción del Paquete II*, Agosto, 2000, 35 páginas.
9. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. *Cepillado y Restauración de Pavimentos de Hormigón*. Boletín Técnico del ICH, 2000, 15 páginas.
10. Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. *Del CCR al CCP, un paso hacia la excelencia en los Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo*. Revista del ISCYC, Año 7, Número 25, San Salvador, Junio 2002, páginas 6 - 13.
11. Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. *Aumentando la vida útil de los pavimentos de concreto existentes a un menor costo*. Revista del ISCYC, Año 7, Número 27, San Salvador, Diciembre 2002, páginas 20 - 26.

[Pagina Principal](#)

E-mail: uidv.contacto@mop.gob.sv