

## GENERALIDADES

El equipo usado para la construcción de pavimentos de hormigón compactado con rodillo (HCCR) es básicamente el mismo que se emplea para el mezclado, transporte, colocación y compactación de pavimentos de hormigón asfáltico. Como es obvio, por tratarse de un material distinto al usado para el que se diseñaron los equipos, deben tenerse en cuenta ciertas consideraciones, las cuales se detallan adelante.

## FABRICACION

### 2.1 Tipos de plantas utilizables

Para la fabricación del hormigón "seco" a compactar con rodillo se pueden utilizar tanto las plantas continuas ("pugmills") empleadas en la fabricación de gravamento, como las plantas estacionarias clásicas (discontinuas) para hormigón. Asimismo, las plantas continuas móviles montadas en "chasis" de camión. Por razones de rendimiento, las más adecuadas son las continuas. También pueden dosificarse los componentes en planta y realizarse el mezclado en camiones mezcladores (chompipas).

Las plantas continuas se caracterizan por tener ejes horizontales que rotan dentro de un tambor fijo, con aspas o paletas adheridas a ellos que agitan la mezcla. En

# Hormigón compactado con rodillo para uso vial

# Aspectos constructivos

este tipo de plantas mezcladoras, los agregados gruesos y finos se incorporan al recipiente principal por medio de compuertas controladas, que dosifican las cantidades dependiendo del diseño de la mezcla. El cemento se descarga desde el silo de almacenamiento sobre los agregados por medio de un mecanismo que incorpora la cantidad precisa de acuerdo con el diseño de la mezcla. Estas plantas se consideran portátiles debido a que todos sus componentes pueden ser montados y transportados en una sola unidad de remolque, y ensamblados para su traslado en menos de cuatro horas. A menudo hay que adaptar los sistemas de dosificación del cemento, limitado, en las gravas-cemento, generalmente a porcentajes del 6% como máximo; pues los hormigones compactados con rodillo tienen contenidos de este aglomerante de, aproximadamente, el doble.

convencionales sólo pueden llenarse con tres cuartas partes del peso normal para el cual están diseñadas, para asegurar así una mezcla homogénea; además los tiempos de mezclado y de descarga deben ser más largos. Todo esto resulta en una disminución de una tercera parte de la capacidad normal que se tiene para la producción de hormigón convencional.

El uso de camiones mezcladores ha resultado exitoso para mezclar el concreto. Este método es aconsejable cuando se dispone de agregados relativamente limpios, al igual que una mezcla con un contenido no muy grande de finos; lo anterior debido a que los finos tienden a aglutinarse, formando grumos difíciles de mezclar completamente, debido a la poca cantidad de agua presente en la mezcla. Es frecuente también, cuando se usa este sistema, que se presenten problemas para la descarga de los camiones mezcladores; esto se remedia colocando el camión en una rampa inclinada 30° con respecto a la horizontal y limpiando el interior del tambor para proporcionar una superficie suave, por la cual se pueda deslizar, fácilmente, el concreto seco.

### 2.2. Acopio de materiales. Silos de cemento

En los acopios y manipulación de áridos deberán observarse las precauciones necesarias para impedir segregaciones, degradaciones, contaminaciones o mezclas de materiales de distintos tamaños. Para garantizar la homogeneidad del material puesto en obra, antes de iniciarse la fabricación, deberá estar acopiado al menos un 50% del árido necesario para la



Pavimento de hormigón compactado con rodillo construido en cuadra urbana de tráfico pesado. Ubicación: Calle 4, entre avenidas 18 y 20, diagonal a la estación del Ferrocarril al Pacífico, Pacífico, San José.

Si para el mezclado se utilizan plantas estacionarias convencionales, de existir alguna cercana al sitio de la obra, lógicamente se garantiza un buen sistema de control y el mantenimiento de una calidad aceptable en todo momento.

Debido a que el hormigón compactado con rodillo es un material extremadamente seco y de baja densidad cuando no está compactado, las mezcladoras

producción de la cantidad total de hormigón compactado prevista. El cemento debe ser almacenado en silos apropiados, de suficiente capacidad.

## PUESTA EN OBRA

### 3.1 Transporte

En el caso de hormigón mezclado en planta, el transporte se realiza en volquetas. Dependiendo del sistema de fabricación, también puede ser transportado en los camiones mezcladores o en las propias plantas móviles. Para disminuir la segregación, la carga de los camiones debe realizarse desde tolvas con altura de caída lo más limitada posible. En condiciones climáticas adversas, puede ser necesario utilizar lonas para proteger el hormigón de la lluvia o de la desecación, durante el transporte.

La selección del equipo de transporte se debe hacer de manera que se garantice un suministro rápido, ágil y eficiente para alcanzar y mantener la velocidad de operación de los equipos de pavimentación.

### 3.2 Extendido

Inicialmente debe asegurarse que la

superficie donde se va a colocar el concreto esté bien compactada y en buenas condiciones, para evitar que la superficie del pavimento se agriete en el futuro. Es importante tener en cuenta que los espesores de colocación del hormigón suelto se deben incrementar entre un 15% y un 25% con respecto a los del diseño, para obtener el espesor correcto cuando finalice el proceso de compactación.

El extendido del material puede realizarse mediante motoniveladora, o bien con extendedora, de las usadas para gravacemento o para mezcla asfáltica.

Cuando el espesor es mayor de 30 cm, particularmente si hay irregularidades de importancia en el pavimento o en la capa de soporte, es factible realizar el extendido en dos capas, la inferior (15 cm como mínimo) con motoniveladora y la superior con una terminadora de mezcla asfáltica. También este sistema se emplea en la construcción de algunos pavimentos para vehículos muy pesados, con espesores cercanos, en ocasiones, a 40 cm.

La motoniveladora está indicada para trazados de geometría compleja, para carreteras en las que la exigencia de regularidad superficial no es muy alta, o en carreteras que llevan una capa de

rodamiento de mezcla asfáltica. En otros casos, es recomendable el uso de extendedoras. Para capas de mucho espesor (> 22 cm) son preferibles las extendedoras modernas provistas de pisonos (tamper) y reglas vibrantes, que producen una pre-compactación importante, lo cual permite conseguir un buen nivel de regularidad superficial.

Si se utiliza motoniveladora, el afinado posterior es imprescindible para conseguir un buen acabado. Por tanto, para evitar las aportaciones en capa delgada que no tienen buena adherencia y producen problemas, el hormigón debe extenderse con espesor un tanto excesivo (después de una primera compactación la rasante debe quedar 1 o 2 cm por encima de la teórica), afinándolo con base en la eliminación del material sobrante, el que puede reutilizarse si el plazo de trabajabilidad lo permite.

A fin de evitar la formación de juntas longitudinales, siempre que sea posible, debe extenderse la mezcla en anchos completos. En caso contrario, deberá obtenerse el ancho total dentro del plazo de trabajabilidad del primer material colocado en la obra; si no se emplean retardadores de fraguado, no debe haber más de una hora de diferencia entre los instantes de las respectivas extensiones de dos franjas continuas.

Como se dijo anteriormente, en la actualidad se fabrican máquinas pavimentadoras especiales para la colocación del hormigón compactado con rodillo, con las que se evitan las dificultades que a veces se presentan cuando se usa equipo convencional. Estas máquinas tienen la capacidad de vibrar y precompactar el hormigón a medida que lo extienden, alcanzándose hasta el 90% de la densidad óptima, disminuyendo así la compactación con rodillos y haciendo el sistema más rápido y económico.

### 3.3 Compactación. Bordes. Afinado

Después de la colocación del material se debe proceder inmediatamente a su compactación. Este proceso se realiza en tres etapas: la primera, la compactación con un rodillo vibratorio; la segunda, con un compactador de llantas de hule; y la tercera, con un rodillo liso (sin vibración), para darle mejor acabado. Un número de pasadas frecuente es del orden de 4 a 6 con rodillo vibratorio, y de 2 a 4 con el de neumáticos.



Primera experiencia de hormigón compactado con rodillo frente a las instalaciones del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Ubicación: San Pedro de Montes de Oca, San José.

La compactación se inicia con el rodillo con los vibradores accionados; el número de pasadas en esta etapa depende del tipo de equipo, de las características de la fundación y del espesor de la capa. Es importante tener en cuenta que, en esta etapa, el rodillo no debe devolverse por el mismo carril, para evitar que se produzcan ahuellamientos.

El concreto debe alcanzar por lo menos el 95% de la densidad del Proctor Modificado y el número de pasadas, generalmente de 4 a 6, se debe definir con anterioridad, por medio de un tramo de prueba. En la Tabla 1 se presentan datos del número posible de pasadas necesarias para alcanzar esta densidad, con diferentes equipos y espesores de capa. La amplitud y la frecuencia con que deben usarse los rodillos no están especificadas; por consiguiente deben estudiarse para cada caso en particular.

La segunda etapa consiste en pasar el equipo con llantas neumáticas al menos dos veces, para que sellen todas las fisuras que quedan en la superficie después del vibrado, y para asegurar un mejor acabado y calidad. Esta etapa se puede omitir cuando se va a cubrir la superficie con una capa asfáltica.

La tercera y última etapa puede lograrse con una o dos pasadas del rodillo en forma estática, primero hacia adelante y luego hacia atrás, en el mismo carril, para borrar las huellas dejadas por el equipo de llantas neumáticas.

En las mediciones individuales (mínimo 20) para la determinación del número de pasadas necesarias, no deben obtenerse valores que difieran en más de dos puntos porcentuales del especificado.

En la práctica, usualmente se usa un equipo compuesto por un rodillo liso vibratorio (con un peso muerto de 9 a 11 tons. y carga estática en la generatriz del rodillo no inferior a 30 kg/cm) y un compactador de neumáticos (de aprox. 20 tons. y carga por rueda no inferior a 3 toneladas, con presión de inflado no inferior a 8 kg/cm<sup>2</sup>) para sellar la superficie. Se puede utilizar un compactador pesado mixto, con un rodillo vibratorio delantero y cinco neumáticos en el eje trasero. El equipo de vibrado debe operarse a una velocidad baja (menor a 3 km/h) y funcionar con amplitudes de frecuencia de vibración alta y baja.

En caso de que se considere necesario efectuar un afinado (sistema que hasta el momento parece proporcionar los mejores resultados en cuanto a regularidad superficial), éste debe realizarse después de obtener la densidad del 95% del Proctor Modificado. Una vez retirado el producto sobrante del afinado, debe proseguirse con la compactación.

Durante la operación de compactación hay que mantener húmeda la superficie, mediante riego con agua finamente pulverizada, que contrarreste la evaporación superficial. También es



Otra vista donde puede observarse el caso de hormigón compactado con rodillo y del otro lado la carpeta asfáltica.

Ubicación: LANAMME, San Pedro de Montes de Oca, San José.

aconsejable humedecer la base antes de extender el hormigón. Para conseguir buenos resultados en la compactación del HCCR, la capacidad de soporte de la base tiene que ser satisfactoria.

De presentarse problemas para alcanzar las densidades esperadas, es muy posible que éstos se originen en los siguientes factores:

- Baja capacidad de soporte de la subrasante o en otras capas del pavimento.

- Control deficiente en la humedad del HCCR.

- Demoras en el inicio de la etapa de compactación.

- Errores en los ensayos.

- Ocurrencia de una descompactación debida a que el rodillo vibratorio está funcionando con amplitudes de vibración más altas de lo debido.

Estos problemas se pueden evitar colocando el concreto sobre una subbase o base de buena calidad, utilizando retardadores de fraguado en caso de ser necesario y empleando un rodillo con amplitud de vibración variable.

La compactación de los bordes es un punto sensible. Los mejores resultados se consiguen si previamente existe una contención lateral, por ejemplo, mediante bordillos colocados. Si no es éste el caso, se recomienda extender previamente el material del espaldón y posteriormente compactarlo simultáneo a la superficie de ruedo. Si el material se está extendiendo por semi-anchos, se recomienda dejar sin compactar un cordón de 40 o 50 cm de ancho en la primera banda para que actúe de contención lateral, el cual se compactará conjuntamente con la segunda banda.

### 3.4 Juntas

Al pavimento de hormigón compactado con rodillo se le pueden hacer juntas similares a las del hormigón convencional, pero con un espaciamiento mayor debido a la menor retracción del HCCR.

#### 3.4.1 Juntas transversales

Las juntas transversales, que tienen por objeto controlar la fisuración aleatoria como resultado de la contracción, son recomendadas para aquellos pavimentos en que se busque una buena apariencia y no vayan a ser recubiertos posteriormente con una capa de hormigón asfáltico. Sin embargo para nuestro clima, son siempre obligadas, debiéndose aserrar a una

distancia aproximada de 5 metros. La edad a la que hay que efectuar el corte no suele ser crítica, pudiendo aserrarse, en la práctica, de las 24 a las 48 horas luego de terminado. Se ha observado que la primera fisura aparece en un plazo de 15 a 30 días después de la ejecución, dependiendo de la temperatura y del clima.

Una práctica bastante usual en los pavimentos de HCCR es no cortar juntas transversales, dejando que el hormigón compactado se fissure libremente. Las juntas de fin de jornada deben realizarse dejando el canto vertical. Idéntica precaución debe observarse en el caso de que haya que disponer una junta de hormigonado, por interrumpirse el proceso constructivo durante un tiempo superior al plazo de trabajabilidad de la mezcla (2 horas si no se utilizan retardadores de fraguado). Cualquiera que sea el sistema empleado (fisuración aleatoria o juntas cortadas), se deben sellar, para evitar la penetración del agua.

### 3.4.2 Juntas longitudinales

Las operaciones de construcción deben organizarse de manera que se eviten las juntas longitudinales.

En el caso de pavimentos con un ancho inferior a 5 m no son necesarias, siempre y cuando se realicen las labores de construcción a todo lo ancho de la vía. Si la extensión se realiza por medias calzadas, habrá que ejecutar la segunda durante el tiempo de manejabilidad de la mezcla (no más de 90 minutos), dejando de compactar unas franjas de 0,20 m a 0,30 m de ancho en el borde de los carriles adyacentes, para

luego compactar simultáneamente las dos franjas. Debe usarse un retardador en caso necesario.

### 3.4.3 Juntas frías

Las juntas frías pueden ser longitudinales o transversales y se deben, en principio, a dos razones: la primera, a la interrupción en la construcción por fallas en el suministro del concreto o por finalización de la jornada laboral, y, la segunda, a las limitaciones del equipo constructivo.

Las juntas frías deben tener un plano vertical, el cual se obtiene cortando el hormigón cuando aún se encuentra fresco, con la ayuda de la cuchilla de la motoniveladora. Al reiniciar la construcción se descarga el HCCR a lo largo de la junta fría, con el sobre-espesor necesario para lograr la altura de concreto compactado deseado según el diseño. Este sobre-espesor es bueno colocarlo también en una franja de unos 8 cm de ancho sobre el concreto endurecido de la junta para, antes de permitir la circulación de los equipos compactadores, empujar el hormigón hacia el material fresco con la ayuda de un rastro. A continuación se hacen circular los compactadores a lo largo de la junta, con el rodillo montado 0,30 metros sobre el concreto fresco.

### 3.4.4 Otras

Las juntas de expansión no son necesarias en los pavimentos de HCCR a menos que se necesite proteger estructuras que se encuentren dentro del área a pavimentar, en cuyo caso se deben seguir las mismas

recomendaciones que en los pavimentos de hormigón convencional.

Las juntas longitudinales de construcción se ejecutan dejando sin compactar, temporalmente, una franja de más o menos 0,25 m de ancho a lo largo del borde del pavimento, mientras se compacta el concreto del interior de la vía, para luego hacer circular los equipos compactadores por la franja no compactada.

Cuando se necesite tener una junta longitudinal muy bien ejecutada, como sería el caso de una vía urbana, puede ser necesaria la colocación de formaletas que contengan el hormigón adecuadamente en su sitio.

En este tipo de pavimento no se ha utilizado, hasta el momento, ningún tipo de varillas de acero, ni como refuerzo, ni como barras de transferencia de carga.

### 3.5 Curado y protección superficial

Debido al bajo contenido de agua en la mezcla, cualquier pérdida de ésta durante y después de la colocación del hormigón se vuelve crítica para la calidad final del pavimento. Debido a esto, la superficie debe mantenerse constantemente húmeda mediante pulverización fina de agua, que no produzca ningún encharcamiento, e inmediatamente después de que se termine la compactación debe aplicarse un tratamiento de curado.

Si el tráfico va a aplicarse inmediatamente, este tratamiento debe consistir en un riego de emulsión de 600 g/m<sup>2</sup> de betún residual;

| <b>EQUIPO DE COMPACTACION</b>                     | <b>No. MINIMO DE PASADAS</b> | <b>ESPESOR MAXIMO (cm)</b> |
|---------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Pisón vibratorio</b><br><b>(mínimo 400 kg)</b> | <b>4</b>                     | <b>0,15</b>                |
| <b>Rodillo vibratorio sencillo</b>                |                              |                            |
| 15 kN/m                                           | 6                            | 0,15                       |
| 25 kN/m                                           | 6                            | 0,25                       |
| <b>Rodillo vibratorio tandem</b>                  |                              |                            |
| 10 kN/m                                           | 6                            | 0,10                       |
| 20 kN/m                                           | 4                            | 0,15                       |
| 30 kN/m                                           | 4                            | 0,15                       |

**Tabla 1. Número de pasadas en la primera etapa y espesores máximos para diferentes equipos.**

con el posterior riego, en un plazo máximo de cinco minutos, de arena de 4/6 mm en una proporción de 4 a 6 litros/m<sup>2</sup>. En el caso de que el pavimento no vaya a ser abierto al tránsito de manera inmediata, se pueden utilizar, como material de curado, productos de látex con polímeros que, aparte de preservar la humedad, reaccionan con el cemento de los milímetros superficiales, produciendo morteros más duros y resistentes. Esta solución es mejor que la de emulsión pero no puede utilizarse si se da tráfico inmediato. El riego usual es del orden de 400 g/m<sup>2</sup>.

Las operaciones anteriores deberán realizarse antes de transcurridas doce horas desde el final de la compactación. Este plazo ha de ser reducido en tiempo cálido y seco.

En pavimentos que no van a ser puestos en servicio en el corto plazo, también el curado puede hacerse con agua, empleando una capa de arena húmeda, mantas de algodón, tela de yute, camiones regaderas o sistemas de atomizadores de agua.

### 3.6 Limitaciones a la ejecución. Lluvias

La compactación del HCR es muy sensible al agua. Un exceso de agua producido por lluvia puede producir colchoncillo, aparte de lavado superficial. Incluso una lluvia fuerte, recién abierto al tráfico, puede ser nociva. Por estas razones no debe ejecutarse esta actividad constructiva durante condiciones de lluvia.

### 3.7 Controles constructivos

El control de calidad es una parte del proceso constructivo que debe tenerse muy en cuenta para el éxito del proyecto. Comprende dos fases: la primera es el control de calidad del material, el que se realiza determinando la humedad y graduación de los agregados; asegurando que la planta esté bien calibrada; determinando la densidad óptima del hormigón, para comprobar, luego, en la obra, el grado de compactación, para lo cual se fabrican probetas en las que también se realizan ensayos de resistencia. La segunda fase es el control de la calidad final del pavimento, que se lleva a cabo comprobando la uniformidad de la superficie terminada, extrayendo núcleos del pavimento, para medirles su resistencia y espesor final obtenido.

En lo que se refiere a los espesores, su control debe hacerse cada 10 metros sobre el material sin compactar, mediante la hincada de un clavo con escala, debiéndose tener en cuenta la disminución que sufrirá el material al compactarse. Si para una mayor precisión, se efectúan los controles en el material ya compactado, deberá recurrirse a métodos altimétricos.

Para el control de la densidad, se recomienda el empleo de sondas nucleares, debiéndose efectuar las determinaciones en sitios aleatorios, con una frecuencia mínima de una medida por cada 100 m<sup>2</sup> de superficie de capa. Puede emplearse también el método del cono con arena, para la comprobación de la densidad "in situ", aunque este sistema es considerablemente más lento. De ser posible, deberán instalarse, en los compactadores, equipos gráficos de registro continuo, para controlar la velocidad de avance, la frecuencia de vibración, el tiempo de trabajo y la distancia recorrida.

Asimismo, deberán efectuarse medidas de la humedad "in situ" en emplazamientos aleatorios, en correspondencia con las efectuadas en el control de fabricación. En general, los contenidos de humedad deberán estar comprendidos entre la óptima y ésta disminuida en dos puntos porcentuales. Finalmente debe controlarse, con una regla

móvil de 3 metros, o con otro dispositivo apropiado, la regularidad superficial. Este es uno de los puntos que pueden ser críticos en la tecnología de los hormigones secos. Si los resultados no son buenos, hay que extender una capa de mezcla asfáltica (normalmente basta con 4 cm). Los mejores resultados de regularidad superficial se han obtenido colocando el material con extendedoras, sobre todo si se utilizan equipos modernos con doble pisón (tamper), que pueden asegurar una precompactación del orden del 94 o 95% de la densidad Próctor Modificado, con lo que el rodillo, posteriormente, apenas provoca asentamientos de la superficie.

## ACABADO SUPERFICIAL

Una buena textura y la suavidad de la superficie al rodamiento dependen especialmente de la calidad y del tamaño máximo de los agregados, de la cantidad de finos y del equipo usado. La superficie del concreto compactado con rodillo tiene la apariencia de un pavimento asfáltico.

Salvo en los casos de pavimentos en los que se va a circular a baja velocidad (patios portuarios o industriales, urbanizaciones residenciales o vías urbanas de baja intensidad), la práctica más usual es la extensión de una capa de rodadura después de unas semanas de tráfico.



Tramo de prueba de hormigón compactado con rodillo en una calle urbana de San José.