

# MATERIALES – C 3.19.1

## **HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO DE USO VIAL**

### **Integrantes:**

Alonso, M. Belén

Bangerter, Matías

Biagini Majorel, Juan

Cavacini, Miguel

Fecha de entrega: 1 de Noviembre de 2002

### **Resumen**

En el presente trabajo se desarrollarán las principales características técnicas y ventajas económicas del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) en sus aplicaciones viales, con particular referencia a la tecnología y experiencia argentina con este material, los materiales locales a emplear, dosificación, ensayos de laboratorio, diseño estructural, métodos y equipos para la construcción, control de calidad, costos y posterior seguimiento del comportamiento de algunos de los diversos tramos ya ejecutados.

## Introducción

El Hormigón Compactado con Rodillo, HCR, comenzó a estudiarse en Argentina casi simultáneamente en sus dos formas más importantes de aplicación: en pavimentos y en diques de gravedad. Las diferencias existentes en estos dos tipos de estructuras, pertenecientes al dominio de la Ingeniería Civil, son muy amplias, lo que nos lleva a distinguir con siglas diferenciales a ambos tipos de HCR, denominando HCRV al de uso vial y HCRD al de empleo en diques.

Cuando encontrándonos frente a un nuevo material se nos presenta la posibilidad de estudiarlo, generalmente tratamos de relacionarlo con lo conocido que nos parece más similar, si esto es posible. En el caso del HCRV encontramos algunas características comunes con varios materiales de gran aplicación en la actividad vial como son los estabilizadores granulares con cemento o grava - cemento, el hormigón tradicional y los concretos asfálticos.

- El HCRV es similar a una GRAVA-CEMENTO en su aspecto exterior, en la forma de producción con máquina mezcladora, en el transporte, distribución y compactación, en el sistema de curado, en la relación agua - cemento que oscila entre 0,38 y 0,45, y también en la posibilidad de ser inmediatamente librado al tránsito una vez finalizada la operación del curado.
- Es similar al HORMIGON TRADICIONAL en su forma de producción con hormigonera de paletas móviles, en el contenido de cemento que oscila entre el 12 y el 14 % del peso total de materiales secos (incluido el cemento), en las resistencias que con él se consiguen, y en el empleo posible de los mismos sistemas de curado.
- También presenta similitud con los CONCRETOS ASFÁLTICOS en el uso de iguales equipos para la etapa constructiva, como la distribución con terminadora y la vibro - compactación con rodillos lisos y neumáticos, además de la posibilidad de apertura inmediata al tránsito.

## Materiales - Dosificación

En todas las experiencias se ha buscado el empleo exclusivo de materiales locales o de los más próximos a la zona de obra.

### **• Agregado grueso y fino**

Puede emplearse canto rodado natural o piedra triturada. Las canteras de la zona deben poder proveer piedra fina de trituración de roca (comúnmente llamada "Binder", "arena de trituración", "fracción fina", etc.), muy limpia, y su parte "fina" (aquellas partículas de tamaño menor a los 74 micrones) no deben ser arcillosas o coloidales, porque restan muchísima resistencia final, al interactuar con el cemento. Esto se dice, simplemente porque las arenas de trituración en todas las canteras, pueden contener una parte de finos arcillosos, ya que las normas que rigen su utilización en los pavimentos asfálticos lo permiten. El tamaño máximo es importante por los problemas de segregación y de terminación superficial, aconsejándose el uso de Tamaño máximo = 20 mm. Las arenas pueden ser de tipo industrial o natural según las condiciones locales.

La experiencia europea, que fue adoptada en nuestro país con excelentes resultados, indica dos tipos de granulometrías, donde también se incluye la presencia del cemento:

Tamiz IRAM	Pasa acumulado %	
	16 mm	20 mm
25,4 mm	--	100
19 mm	100	85 – 100
16 mm	88 – 100	76 – 95
9,5 mm	70 – 87	60 – 83
4,8 mm	51 – 69	42 – 63
2 mm	34 – 49	29 – 47
420 µm	18 – 29	16 – 27
74 µm	10 – 20	9 - 19

El porcentaje en que intervendrá el agregado grueso y el fino se determina por los métodos comunes de composición granulométrica, partiendo de las curvas tipo indicadas, según el tamaño máximo elegido, y haciendo intervenir al cemento como un agregado más, partiendo de una composición de entre el 12 y el 14 % de cemento sobre el peso total de la mezcla. La cantidad de cemento suele estar comprendida entre 250 y 330 kg/m<sup>3</sup>. En general debe tenderse a adoptar las curvas menos ricas en finos, con objeto de evitar el riesgo de “colchoneo” durante el proceso de compactación de la mezcla.

- **Cementos**

Pudiendo emplearse cementos comunes es aconsejable el empleo de cementos puzolánicos (las que nos permiten una mayor trabajabilidad, mayor impermeabilidad y mayor resistencia final, pero como consecuencia negativa nos genera retracción plástica) o de escoria granulada de alto horno, fabricados en nuestro país bajo IRAM 50000, de manera de lograr un tiempo de comienzo de fragüe mayor, lo que asegura un “tiempo de trabajo” para el HCRV mayor que el que se obtiene cuando se emplea cemento normal.

Este concepto de “tiempo de trabajo” es importante en la tecnología de los HCR y se define como el tiempo transcurrido desde el comienzo de la producción en hormigonera o en mezcladora, cuando se incorpora el agua al hormigón, hasta el comienzo del fraguado del cemento, en el cual debe realizarse totalmente el transporte, la puesta en obra y la compactación hasta su terminación. Debe conocerse entonces el tiempo de comienzo de fragüe del cemento que se va a emplear, y en base a este dato y la planificación del trabajo a ejecutar se determinará la conveniencia o no de agregar aditivo del tipo retardador de fraguado.

- **Agua**

El porcentaje óptimo de agua oscila entre el 4 y el 6 % del peso seco de los materiales, con lo cual la relación agua – cemento queda comprendida entre 0,33 y 0,38. En nuestra tecnología el porcentaje óptimo se determina partiendo del ensayo Proctor, con probetas preparadas con distintos porcentajes de humedad, entre el 3 y el 7 %, compactadas de acuerdo al Ensayo VN – E 5-67 (Ensayo V), lo que permite determinar la Humedad óptima y la Densidad máxima del material; este último valor oscila en las experiencias entre 2,2 y 2,4 g/cm<sup>3</sup>.

El HCRV es muy sensible a las variaciones del contenido de agua, la falta aumenta el riesgo de segregación y el exceso dificulta el aprovechamiento total de la energía de compactación.

- **Aditivos**

Se tratará generalmente de evitar su uso, únicamente puede resultar interesante el empleo de retardadores de fraguado, en cuyo caso la incorporación debe realizarse junto con el agua en su ingreso a la hormigonera o mezcladora. En algunos casos se han utilizado plastificantes para reducir el contenido de agua y así aumentar la resistencia.

### **Capacidad estructural - Ensayos**

Partiendo de la dosificación establecida y de la Humedad óptima encontrada se procede a fabricar probetas que servirán para, a la edad de 7 y 28 días, evaluar su resistencia estructural.

Las probetas se producen con el mismo sistema de compactación indicado, quedando las dimensiones aproximadas en 15 cm de diámetro y 12 cm de altura. El curado es el tradicional para probetas de hormigón, en cámara húmeda a 20 °C y 90 % de humedad.

Los ensayos de resistencia se hacen a rotura por compresión diametral, según IRAM 1658. Los valores que se obtienen a los 28 días, oscilan entre los 28 y 33 kg/cm<sup>2</sup>. En caso de que se utilicen cementos con retardadores de fragüe, se recomiendan edades de ensayo que oscilan entre 56 y 90 días, debido a que los primeros días las resistencias tienen un desarrollo menor, para luego aumentar sensiblemente.

Es importante también conocer la “capacidad soporte inmediata” del material, lo que posibilitará su correcta compactación con rodillos vibrantes. Para ello se someten probetas compactadas al 97% de la Densidad máxima, al ensayo de Valor Soporte, el que debe resultar igual o mayor al 65 %. Esta condición es cumplida satisfactoriamente con facilidad por las propias características del material. El ensayo debe realizarse inmediatamente de preparada la probeta (antes que el aglomerante haya empezado a desarrollar su resistencia), sin sobrecarga y sin embebimiento previo.

La condición de resistir esfuerzos en forma inmediata a la terminación de la compactación se debe a la capacidad portante proveniente de la fricción entre los agregados pétreos, como si fuera una capa de los llamados “Estabilizados Granulares” (mezclas de piedra gruesa, fina, arenas y suelos seleccionados).

Es importante determinar la sensibilidad de la mezcla a las variaciones de la energía de compactación y el porcentaje de humedad, para luego ajustar los necesarios controles en obra. La metodología aconsejada consiste en confeccionar probetas compactando con distintas energías, 12, 15 y 56 golpes, por ejemplo, verificando en cada una la densidad lograda y la resistencia a rotura por compresión diametral de las mismas.

La sensibilidad al agua se puede conocer preparando probetas variando el porcentaje correspondiente a la Humedad óptima, en  $\pm 1$  y  $\pm 0,5$ , y compactando para densidades del 95, 97 y 100 % de la Densidad máxima obtenida, determinando la energía de compactación necesaria para cada variación de la humedad y las variaciones de resistencia obtenidas.

Para el diseño estructural debe emplearse el valor representativo de la resistencia a rotura por compresión diametral obtenido con probetas compactadas al 97 % de la Densidad máxima.

### **Diseño estructural**

Conocida la capacidad estructural del HCRV que se utilizará en obra, el diseño del espesor de las losas se realiza de acuerdo a los métodos empleados para diseño en pavimentos, tanto rurales como urbanos, de hormigón tradicional.

Se determinará por los métodos conocidos el V.S.R. de la subrasante, y las cargas que actuarán sobre la estructura del camino, que se obtienen generalmente de los censos de cargas, disponibles, predimensionando la losa de HCR empleando los mismos elementos que se utilizan para las losas de hormigón tradicional. Se estima que a medida que avance el conocimiento del hormigón, se podrán confeccionar nuevos gráficos especialmente preparados para diseñar con HCRV.

### **Calidad superficial**

Las exigencias varían según que la losa de HCRV esté destinada a ser recubierta o no.

Si el HCRV va a ser recubierto las exigencias disminuyen, y varían para recubrimientos con tratamientos o concretos asfálticos.

Lograr una buena terminación superficial tiene relación con la granulometría de los agregados, conviene un Tamaño máximo no mayor de 19,5 mm, con el equipo de distribución que se emplee. Es aconsejable una terminadora con precompactación del material en lugar de distribuirlo con motoniveladora, seguido por el equipo de compactación, rodillos lisos vibrantes usados convenientemente y rodillo neumático.

En general, como acabado superficial, se tienen varias posibilidades:

- Si se está en el caso de tránsitos pequeños y que van a circular a baja velocidad, como en una calle urbana, el sistema de acabado superficial que se ha utilizado en las calles españolas es un fratasado mecánico con llanas girando a gran velocidad. Estos aparatos son conocidos como helicópteros. Otra posibilidad es simplemente dejar el mismo riego del curado, o bien un simple tratamiento superficial.

- Para el caso de tránsitos superiores y de más velocidad, el tratamiento a disponer depende un poco del método de puesta en obra. Si se había extendido el material con una terminadora de grava – cemento o de concreto asfáltico, que permiten alcanzar una buena regularidad superficial, un tratamiento superficial es suficiente. En el caso de que la regularidad superficial conseguida en obra no haya sido buena, una carpeta asfáltica de varios centímetros de espesor absorbe todas estas irregularidades. En cualquiera de los dos casos es conveniente extender este tratamiento después que hayan pasado unos días o semanas, de forma que fundamentalmente, las fisuras de retracción se hayan manifestado ya y entonces se evita la reflexión de aquéllas en la carpeta.

### **Fisuración**

Las fisuras por contracción inicial se producen normalmente en los HCR respondiendo a las causas características de los pavimentos rígidos, pero en este caso particular a distancias mayores que en los de hormigón tradicional, porque la relación agua - cemento es menor, lo que significa una menor cantidad de agua sobrante a eliminar. Las fisuras se producen entre los 10 y 20 m, observándose mayor regularidad y perpendicularidad respecto al eje longitudinal de calzada, y espesor de abertura menor.

No se produce fisuración longitudinal o de articulación, condición que se ha cumplido en todas las experiencias realizadas en el país.

La tendencia actual es permitir la libre fisuración de las losas y luego proceder al sellado correspondiente cuando sea necesario. Pero cuando el HCR se emplea como capa de rodamiento, sin recubrimiento, es aconsejable construir juntas transversales por el método clásico de provocar la fisura debilitando la sección de la losa, con la ventaja adicional que el tiempo de comienzo de la fisuración es mayor que en el hormigón clásico,

no antes de las 72 horas de vida, por lo que iniciar las operaciones de formación de juntas no resulta tan apremiante en el tiempo.

### **Métodos constructivos**

Todas las experiencias realizadas y las actualmente en programación se han orientado, en lo que respecta a la construcción del pavimento, en la experiencia europea, pero adaptándola a nuestra modalidad de trabajo, materiales y equipamiento, para así lograr una tecnología propia.

Las etapas constructivas, detalladas brevemente son:

- **Producción**

El HCRV se puede producir en planta mezcladora del tipo empleado para suelo - cemento o mezcla granular y también en planta hormigonera de paletas móviles. Las primeras dosifican por volumen y las segundas por pesadas. Se ha comprobado que la dosificación por peso resulta más eficiente, ya que asegura una mezcla uniforme de los agregados, el cemento y el agua. En cambio, cuando se dosifica por volumen, se ha comprobado que las variaciones que se producen son bastante importantes.

- **Transporte**

Se realiza en camiones volcadores sin ningún dispositivo especial. Se deberá evitar la segregación del material y las variaciones de humedad provocadas por alta temperatura, viento, etc. Para ello puede resultar conveniente cubrir con un toldo adecuado al material.

La altura de caída desde la planta al camión debe cuidarse que resulte la mínima posible para evitar problemas de segregación.

La distancia de transporte debe también considerarse en lo que representa como consumo de parte del "tiempo de trabajo" cuya importancia ya se ha explicado precedentemente.

- **Colocación y Distribución**

Previo a esta operación se verificará la calidad de la base de poyo, en cuanto a sus características geométricas y a su capacidad portante, de manera tal que no ceda al ser compactado y provoque una compactación deficiente de las capas inferiores del hormigón, que son las que tienen la misión resistente mayor. Sobre la base aprobada se realizará, antes del volcado de HCR, un riego con agua, utilizando camión regador, especialmente si la base está constituida por material drenante y el tiempo se presenta ventoso y caluroso.

La distribución del HCR puede realizarse desde la forma más elemental que consiste en el empleo de motoniveladora hasta la más avanzada con terminadora – extendedora para concreto asfáltico que dejan el material precompactado y semiterminado. Ésta última distribuye capas de 19/22 cm de espesor suelto, para que luego de la compactación provea una capa de 15/18cm. Como elemento intermedio se puede mencionar las distribuciones tipo "cajón" que suelen emplearse en bases estabilizadas granulares. Por supuesto que según la mayor o menor calidad del equipo distribuidor será el resultado que se obtenga en lo referente a uniformidad de espesores y terminación superficial.

La distribución se realiza por carriles, de acuerdo con el ancho que permite al equipo, siempre se tratará de terminar en una línea para todos los carriles a objeto de formar una sola junta transversal de construcción. Se trabajará con un espesor inicial, de manera que una vez compactado el material, se logre el espesor exigido.

En esta etapa es conveniente disponer de un equipo para riego con agua por pulverización, por si se produjera el secamiento de la superficie.

Otra ventaja de este material con respecto al hormigón tradicional es que no precisa de moldes laterales para su contención, ya que su propia consistencia inicial lo mantiene conformado adecuadamente.

#### ▪ Compactación

El HCR se compacta en una sola capa, para lo cual se emplean los mismos equipos que se utilizan en la compactación del concreto asfáltico. Ellos son:

- rodillo liso vibrante, convenientemente con carga estática igual o mayor a 30 kg/cm de generatriz, con tracción en el rodillo vibrante. Es el que provee la compactación al HCR, que permitirá una pronta capacidad portante al tránsito, junto a una excelente resistencia mecánica a la tracción en la fase del endurecimiento.

- rodillo neumático, a emplearse con una carga de 3000 kg por rueda y presión de inflado mayor o igual a 8 kg/cm<sup>2</sup>. Es el que provee el “amasado y terminación superficial” que el rodillo liso vibratorio no puede lograr.

Se comienza con el rodillo estático y luego se trabaja vibrando con el número de pasadas (trayecto de ida y vuelta del rodillo) suficientes para lograr la densidad especificada. Ésta debe ser igual o mayor al 97% de la densidad máxima obtenida para la mezcla.

No hay un número fijo de pasadas de rodillo liso ni del rodillo neumático; debe realizarse una experiencia previa a la obra, en un tramo elegido expresamente donde se verifique el número de pasadas necesarias, que puede variar entre 10 a 20; pero como queda indicado, todo depende de las características de la base, del material y del equipo disponible, del espesor y del clima.

Finalmente se pasa el rodillo neumático (10 a 12 pasadas) cuya misión es mejorar la terminación de la losa borrando las pequeñas deficiencias que pueden quedar luego del paso del rodillo liso y borrar o corregir las fisuras superficiales.

También para esta etapa es necesario disponer de un equipo para regar agua por aspersión por si fuera necesario, de manera de poder mantener la humedad óptima, asegurando que la superficie permanezca húmeda, pero sin formar charcos. Esto debe realizarse especialmente en días de verano y ventosos.

La compactación de los bordes es un punto importante. En el caso de los bordes laterales, de ser posible, se utilizan unos cordones (caso de los pavimentos urbanos), pues resultará tanto mejor la compactación. Pero, en el caso de que no tenga cordones, lo que hay que hacer es extender previamente el material de la banquina y ejecutar una primera pasada. Ya con el material de la banquina, y antes de la compactación, se efectúa una primera pasada con el rodillo a caballo de la banquina y el hormigón seco, y una segunda pasada también similar sobre el hormigón seco. Luego se prosigue la compactación normalmente, pero siempre disponiendo una contención lateral al borde para evitar la descompactación del mismo. Si se trabaja por carriles hay que dejar sin compactar una tira longitudinal central de aproximadamente 40 cm de ancho que actúa de contención, luego al compactar el segundo carril se compactará esta tira. Para la contención lateral se trabaja en igual forma realizándose la compactación de la tira junto con el material de banquetas.

#### • Curado

Se realiza inmediatamente después de terminada la compactación, con el objetivo de evitar las pérdidas de humedad y lograr que el conglomerante pueda desarrollar las reacciones que conducen al fraguado (hidratación del cemento). Se aconseja emplear emulsión asfáltica aniónica distribuida con camión regador sin transitar por el HCR. Si se va a liberar al tránsito, lo que puede hacerse no bien rompa la emulsión, es un riego con arena,

en un espesor de 2 - 6 mm aproximadamente, en una proporción del orden de unos 4 a 7 litros/m<sup>2</sup>, para evitar que el asfalto sea levantado por las ruedas de los vehículos.

En el caso de que el HCR no vaya a librarse inmediatamente al tránsito, se han desarrollado algunos productos de curado especial en base a polímeros que, al mismo tiempo que impiden la evaporación del agua, se ha comprobado que reaccionan con la capa superficial (algunos mm) del material puesto en obra, dando así una superficie más resistente.

- Juntas

Si el pavimento de HCR va a ser cubierto con una capa asfáltica no se marcará ningún tipo de junta, salvo la transversal de construcción de fin de jornada o alguna exigida por paralizaciones del equipo distribuidor por tiempo superior al período de trabajabilidad.

La junta transversal de construcción se cortará de manera tal que sus paredes queden perfectamente verticales, a una profundidad de 1/5 del espesor. Una práctica usual en Francia, para lograr este propósito es la siguiente: como se trata de una junta de final del día, lo que hacen primero es extender una cuña de hormigón seco para facilitar la salida de los equipos de compactación. Después con una motoniveladora cortan un poco de este hormigón seco y rellenan el espacio adyacente con grava. Estas motoniveladoras dejan los bordes verticales, compactan y al día siguiente, antes de iniciar los trabajos, retiran esta grava sin tratar y la cuña de hormigón seco.

Si el pavimento de HCR no va a ser cubierto, podrá disponerse al corte de juntas transversales de contracción, entre 12 m y 15 m de separación, por los sistemas tradicionales, o permitir que se produzcan libremente sin corte previo.

Si se trabaja por carriles, para evitar la formación de juntas longitudinales en la unión de dos carriles contiguos, se dejará sin compactar, en el primer carril, un cordón longitudinal central con un ancho del orden de los 40 cm, el cual se compactará al ejecutar el segundo carril.

## **Sección de ensayo**

Antes de iniciarse los trabajos se debe construir una sección de ensayo, con ancho y espesor igual al de la calzada a pavimentar, y una superficie equivalente al menos a medio día de trabajo. En ella se probará el equipo y se determinará el plan de compactación, de forma tal que se consigan los siguientes grados de compactación:

- Densidad media de la capa, mayor o igual que el noventa y siete por ciento (97%) de la Densidad máxima obtenida en Laboratorio.
- Densidad media en el fondo de la capa, mayor o igual que el noventa y cinco por ciento (95%) de la Densidad máxima obtenido en Laboratorio.
- Valores de medidas individuales de densidad media y densidad en el fondo superiores al noventa y cinco por ciento (95%) y noventa y tres por ciento (93%) respectivamente.

Esta sección de ensayo servirá igualmente para determinar el espesor con que será distribuido el material, de manera de lograr una vez compactada correctamente, el espesor exigido para la estructura definitiva.

Se tomarán muestras de HCR y se analizarán para determinar su conformidad con las condiciones especificadas sobre humedad, porcentaje de cemento, resistencia a tracción por compresión diametral y demás requisitos exigidos.

Si los resultados no son satisfactorios se procederá a la realización de sucesivos tramos de ensayo, introduciendo las oportunas variaciones en planta, en equipos y métodos de trabajo hasta obtener la calidad exigida.

## **Controles de calidad**

La finalidad de estos controles es verificar la buena ejecución de la obra, detectando realizaciones defectuosas. Se los clasifica en dos categorías: Controles en planta y controles en obra.

- **Controles en planta**

Además del correcto calibrado de la planta, sea ésta por pesada o por volumen, y de los controles específicos para cada material acoplado, es importante el control de granulometría de la mezcla. Para ello se tomará material mezclado seco, antes del ingreso del agua, y se determinará su granulometría para compararla con la mezcla granulométrica tipo, realizando las correcciones que corresponden si fuera necesario.

El porcentaje de humedad de la mezcla debe también controlarse en planta, retirando material del camión cargado para su transporte a obra.

La periodicidad de estos dos controles depende del ritmo de avance de la obra, pero en condiciones normales la granulometría debe verificarse tres veces al día, por la mañana, al mediodía y por la tarde. En el caso del porcentaje de humedad, dada la alta sensibilidad del HCR a las variaciones del agua, es conveniente un control estricto. Puede realizarse, por ejemplo, cada hora de trabajo; este intervalo de tiempo variará según la normalidad que se verifique en los valores obtenidos, también debe atenderse a las condiciones climáticas en que se está desarrollando la obra.

Debe tenerse en cuenta que del mismo camión que se retiró material para analizar, se volverá a retirar una vez que éste llegue a la obra, para determinar un nuevo porcentaje de humedad que permitirá valorar las pérdidas que pudieran ocurrir durante el trayecto de la planta a la obra.

Se moldearán probetas con material extraído en planta, para luego de curadas, ensayarlas a rotura a tracción por compresión diametral (con edades de 7 y 28 días), lo que permitirá verificar la calidad estructural de la mezcla.

Queda sobreentendido que todas estas operaciones de control deben realizarse empleando la misma metodología que fue usada en la etapa inicial de evaluación y diseño.

- **Controles en obra**

Como se expresara anteriormente, se hará con material del mismo camión de donde se extrajo para igual control en planta.

El control de compactación se realizará, siempre que sea posible, utilizando registradores gráficos continuos instalados en los equipos de compactación, que permitan controlar la velocidad de avance, la frecuencia de vibración, el tiempo de trabajo y la distancia recorrida.

El control de la densificación y del porcentaje de humedad durante la compactación con rodillo se realiza por intermedio de núcleos densímetros, los que permiten medir densidad húmeda y seca del material y el porcentaje de humedad, control que se puede realizar a distintas profundidades dentro del espesor de la capa. El control de densidad se efectuará como mínimo cada 100 metros cuadrados sobre el material compactado en el día, verificando que se cumplan las exigencias indicadas para la sección de ensayo. En el caso del control de la humedad, se efectuarán todos los días un mínimo de cinco determinaciones en correspondencia con las efectuadas en el control de producción.

Se acostumbra controlar también la densidad por el método de la arena, para efectuar las comparaciones de valores obtenidos.

A título indicativo se puede decir que con un descenso del 5% en la densidad, la resistencia descende en un 25%, y con un descenso del 3%, es decir, si se está en un 97% de densidad, el descenso de resistencia es del 15%, con lo cual también hay que controlar cuidadosamente la compactación obtenida en obra, sobre todo en el caso de carreteras importantes.

El control de espesores debe realizarse cada diez metros de longitud, sobre el material sin compactar o con una previa precompactación parcial, mediante un clavo provisto de escala o tope indicador. Se deberá tener en cuenta la disminución que sufrirá la capa debido a la compactación, que fue determinada en la sección de ensayo. Este control se realiza desde la máquina distribuidora, a medida que ésta avanza, de manera que cualquier error pueda corregirse inmediatamente.

Posteriormente se extraerán testigos con máquina caladora, de 15 cm de diámetro, aproximadamente cada 50 m, en forma alternada para cada carril. Este espesor no debe ser en ningún punto inferior en más de 15 mm al fijado. Los orificios producidos en la losa de HCR por la extracción de testigos serán rellenados con hormigón de igual calidad que el utilizado para la losa, el que será correctamente compactado y enrasado. Además, con estas probetas se deben realizar ensayos a tracción por compresión diametral, para determinar las resistencias a flexión (edad: 28, 60, 90 días), las cuales deben resultar iguales o mayores que las especificaciones para las edades de ensayo. La resistencia a tracción por compresión diametral a 28 días no debe ser inferior a 2,8 Mpa para rutas de tránsito medio, y a 3,3 Mpa para rutas de tránsito pesado.

El control de curado consiste en controlar que la superficie de HCR se encuentra saturada de humedad antes del riego con el producto de curado, a los efectos de que éste no penetre en el hormigón terminado.

El control de regularidad superficial varía según la terminación que se le dé al HCR. Si la capa de rodamiento consiste en un tratamiento superficial tipo doble, la superficie terminada de HCR no deberá presentar diferencias de más de 5 mm respecto a una regla de 3 m apoyada sobre la superficie en cualquier dirección, y si consiste en una capa de concreto asfáltico en caliente, la superficie terminada de HCR no deberá presentar diferencias de más de 10 mm determinadas en la misma forma.

Las zonas en que no se cumplan las tolerancias antedichas, o que retengan agua sobre su superficie deberán corregirse de acuerdo con lo siguiente:

- El perfilado y recompactación de la zona alterada sólo podrá hacerse si se está dentro del tiempo de trabajabilidad del material.
- Si se hubiera excedido dicho plazo, se reconstruirá totalmente la zona afectada. Se exceptúa el caso en que el incumplimiento de las anteriores tolerancias sea debido únicamente a la existencia de puntos altos, los cuales entonces podrán ser eliminados empleando equipos con elementos abrasivos.
- Si la rasante de HCR queda por debajo de la teórica en más de las tolerancias admitidas, se reconstruirá la zona afectada, o se incrementará el espesor de la capa inmediatamente superior.

### **Experiencias en el mundo con este material**

Los primeros pavimentos de hormigón que se ejecutaron en el mundo, hace ya más de 100 años, se construyeron igualmente con hormigón seco, porque en aquella época no se

conocía la vibración. Ellos se compactaban superficialmente como buenamente se podía. Posteriormente, el avance de la técnica trajo la vibración y esa modalidad del hormigón seco en pavimentos se fue abandonando. Al cabo de los años ha vuelto a resurgir.

En España, desde 1970, se lo está empleando en calles urbanas, o carreteras para tránsito secundario, donde en una forma, casi autodidacta, se llevan construidos hasta el momento, unos 4 millones de m<sup>2</sup>, los que se han comportado muy satisfactoriamente.

Posteriormente en Francia, desde 1977, tras una serie de estudios ya más detallados, en laboratorio, se pasó a emplear este material empezando por las carreteras secundarias. Se fue luego dominando la técnica de puesta en obra y descubriendo sus cualidades, para luego utilizarlo en carreteras con tránsitos del orden de unos 35<sup>o</sup> camiones por día.

Actualmente, hay en curso varios sistemas patentados de puesta en obra de este material, siendo sus nombres COMPAC y SANDOCIN. El primero de ellos se refiere al empleo de hormigón seco sin cenizas volantes y el segundo a la utilización, como conglomerante, de una mezcla de cemento y cenizas.

### **Experiencias argentinas con este material:**

#### **Tramo experimental en Ruta Nacional N° 3, Pcia del Chubut, Arroyo Verde . Puerto Madryn y Acceso a Puerto Mineralero.**

Fue el primer tramo diseñado y construido en nuestro país con HCRV. Está ubicado a la altura del kilométrico 1384 de la RN N° 3, cerca del Acceso a Puerto Madryn, tiene una longitud total de 180 m, compuesto por dos carriles de 4 m de ancho cada uno. Se construyó entre los días 16 y 18 de julio de 1986.

Los materiales empleados fueron: **Agregado pétreo**, canto rodado y arena natural procedente de yacimientos adyacentes a la zona del camino; **Aglomerante**, cemento puzolánico de Petroquímica Comodoro Rivadavia SA; **Agua**, agua potable procedente del acueducto Trelew - Puerto Madryn.

La dosificación adoptada expresada en porcentajes respecto de la mezcla total resultó:

- Agregado grueso: 38%, Tamaño máximo 1"
- Agregado fino: 48%, pasa 3/8" el 96,7%
- Cemento portland puzolánico: 14 %

La curva granulométrica obtenido incluido el cemento fue:

Tamiz IRAM	% que pasa
25,4 mm	97,2
19 mm	78,5
12,7 mm	63,6
9,5 mm	50,4
4,8 mm	49,9
2,4 mm	42,4
1,2 mm	39,8
590 µm	37,3
297 µm	27,4
149 µm	15,2
74 µm	14,6

La Humedad óptima y la Densidad máxima resultaron 5,3 % y 2243 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. La relación agua cemento es de 0,38. El VSR de las probetas preparadas y ensayadas en las condiciones establecidas superaba el 100 % cumpliendo sobradamente con la exigencia de resultar mayor al 65%.

Se dan resultados de las series de ensayos realizados para determinar resistencia a rotura por compresión diametral, en probetas con 7 y 28 días de edad:

Probeta N°	Diámetro cm	Altura cm	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Edad días	Humedad %	Golpes N°
10	15	11,6	17,9	7	5,3	56
11	15	11,4	18,7	7	5,3	56
12	15	11,6	28,3	28	5,3	56
13	15	11,5	29,2	28	5,3	56

El diseño estructural se realizó tomado datos del censo de cargas de la ruta proporcionado por la DNV. La vida útil se estimó en 30 años. El espesor de la losa se calculó de 20 cm.

La planta de elaboración empleada fue instalada para mezclar el estabilizado granular que formaba parte del paquete flexible en construcción; también se utilizó la distribuidora tipo cajón empleada con el mismo fin en la obra.

La compactación se realizó empleando un rodillo liso vibrante. Se trabajó con tres pesadas completas del rodillo estático y luego dos con el tambor delantero estático y el posterior vibrando. Luego se empleó un rodillo neumático que, con cuatro pasadas completas, lograba la terminación final adecuada.

Inmediatamente de terminada la compactación se procedió a un riego de curado con emulsión asfáltica aniónica empleando un camión regador. Finalmente se distribuyó una delgada capa de arena, librándose al tránsito luego de producir la rotura de la emulsión.

En la evaluación posterior del pavimento se ha constatado que de acuerdo con lo previsto, las fisuras por construcción se produjeron entre 10 y 12 m. Por ello se ha cubierto la losa de HCRV con una capa de concreto asfáltico.

### **Tramo Experimental en Ruta Nacional N° 12 – Campana – Pcia. de Buenos Aires**

Dentro del contexto de pavimentación de la RN9, de la construcción del intercambiador a la altura de Campana, se incluyó un ensanche del pavimento existente en RN 12, para permitir la cómoda interconexión entre ambas rutas. Dicho ensanche comprendía una faja de, aproximadamente, 150m de longitud y un ancho medio de alrededor de 10m.

Para ejecutarlo se consideró de interés recurrir al HCR, para lo cual se realizaron los estudios de dosificación de la mezcla con los materiales disponibles en obra, adoptándose la siguiente fórmula, referida, como siempre, al peso total de la mezcla.

- Agregado pétreo granítico grueso (6 – 20 mm): 51 %
- Agregado pétreo fino silíceo (MF = 2,4): 36 %
- Cemento portland normal: 13 %

El espesor de la capa de HCR se fijó en 20 cm, estando aquélla asentada sobre una sub - base granular.

El método constructivo se basó en la utilización de una motoniveladora para distribuir la mezcla, con camiones volcadores utilizados para el transporte.

Para evitar un excesivo retardo de la compactación, la construcción se realizó en tramos de alrededor de 30 m, en todo el ancho de la faja de ensanche.

Efectuada la distribución, se pasaba 2 veces un rodillo liso sin vibrar, y luego el mismo rodillo vibrando, que se pasaba el número de veces que se consideró necesario para alcanzar la densidad fijada.

Finalizado el vibrado, se pasaba el rodillo neumático para cerrar la superficie, siguiendo luego las operaciones relativas al curado.

### **Bacheo en la Ruta Nacional N° 205 – Provincia de Buenos Aires**

El proyecto de refuerzo y ensanche de RN 205, en el tramo Cañuelas - Lobos, comprendió, entre otros trabajos, el bacheo del antiguo pavimento de hormigón que, durante muchos años, prestó servicio satisfactorio al intenso y pesado tránsito que se canaliza por esta ruta.

Sobre la superficie preacondicionada del pavimento existente, y previo ensanche del mismo mediante la construcción de dos franjas laterales de hormigón convencional, se proyectó un recubrimiento consistente en dos capas de concreto asfáltico, actualmente en ejecución.

Originariamente, el bacheo, que abarcaba una superficie de 3000 m<sup>2</sup>, se ejecutó con hormigón convencional, previo saneamiento de los suelos de la subrasante en aquellos lugares donde su estado de humedad, debido a la proximidad de la capa freática fuese alto y la posterior construcción de una subbase de suelo – cemento de 15 cm de espesor.

Poco después de iniciarse los trabajos de bacheo, se consideró la conveniencia de recurrir al empleo de HCR, para la ampliación en 9000 m<sup>2</sup> para este tipo de obra. A raíz de esta inquietud se realizaron estudios para establecer la dosificación más adecuada de la mezcla a emplear, considerando la utilización de los mismos materiales acopiados en obra. Los materiales pétreos disponibles en obra eran: piedra partida granítica comercial con tamaño de granos entre 6 y 20 mm; arena silícea y arena granítica de trituración, con tamaño entre 0 y 6 mm. El tenor de cemento portland normal, fue fijado en 12%, referido al peso de la mezcla total, incluido aquél.

Efectuados los ensayos de laboratorio, se estudiaron varias fórmulas de posible aplicación, entre las cuales figuran las siguientes, referidas al peso seco de la mezcla total:

Material	Mezcla I	Mezcla II
- Agregado pétreo grueso(piedra 6-20 mm)	50%	52%
- Agregado pétreo fino granítico(0-6 mm)	28%	36%
- Agregado pétreo fino silíceo	10%	--
- Cemento portland normal	12%	12%
	TOTAL 100%	100%
* Densidad máxima (Proctor modificado)	2310 kg/m <sup>3</sup>	2272 kg/m <sup>3</sup>
* Humedad óptima	6%	5,5%
* Resistencia a tracción por		
- Compresión diametral	36,2 kg/cm <sup>2</sup>	34,1 kg/cm <sup>2</sup>

Si bien se empezó a trabajar con la mezcla I, con la cual se taparon varios baches, posteriormente se continuó con la Mezcla II, que es la que posteriormente se siguió utilizando.

El espesor de la capa de HCR se fijó en 20 cm y asiento sobre la base de suelo – cemento. El método constructivo para la ejecución del bacheo, obedeció a la disponibilidad del equipo en obra. Después de ejecutarse el saneamiento y la construcción de la subbase

de suelo – cemento antes mencionados, se procedió a depositar la mezcla transportada por camiones volcadores comunes dentro de la cavidad a llenar. Luego se distribuyó la mezcla con motoniveladora hasta un nivel algo superior al del pavimento existente a fin de que, una vez compactada quede un sobreespesor respecto del proyectado que posteriormente fue retirado por la cuchilla de aquella máquina. Finalizada la distribución se inició la compactación mediante pasadas de un rodillo liso, sin vibrar, y luego con dicho rodillo vibrando. Completada la compactación, se cortó el exceso de espesor por el procedimiento indicado y se pasó rodillo neumático lo suficiente como para sellar la superficie. Posteriormente se saturó la superficie de HCR con un riego de agua, utilizando un camión regador, y se distribuyó el material asfáltico de curado.

Dado que muchas veces es necesario el librar al tránsito de inmediato, se procedió a distribuir sobre la superficie regada con asfalto, arena granítica en cantidad suficiente para impedir que el material asfáltico de curado sea levantado por los vehículos.

La aptitud del HCR para su inmediata apertura al tránsito, fue sumamente provechosa en esta obra, dada la intensidad y peso del tránsito que por ella circula.

Además, podemos citar las siguientes:

- Tramo experimental en Ruta Provincial N° 4(Camino de Cintura), Pcia. de Buenos Aires. Se ejecutó en mayo de 1987, y fue la primera vez en nuestro país que se utilizó una terminadora asfáltica para la distribución del HCR.
- Acceso a Planta Paraná de Cemento San Martín. Se construyó entre el 11 y 16 de junio de 1987.
- Pavimentación de la Avenida Oscar Orías, ciudad de Jujuy. La obra se construyó entre el 22 y el 27 de julio de 1987.

### **Consideraciones Económicas - Conclusiones**

Una vez analizado de manera profunda al material, podemos establecer las siguientes ventajas que presenta el HCR:

- La mayor ventaja económica que presenta el H. C. R. es el *Tenor (contenido) de cemento*, ya que logra mayores Resistencias a la Tracción, con menor porcentaje de Cemento Pórtland que el H<sup>o</sup> tradicional. Esto ocurre fundamentalmente, porque la compactación del H.C.R. se realiza mediante la aplicación de una importante energía mecánica (la compactación con rodillo liso vibrante le aporta una energía que le permite un adecuado y óptimo acomodamiento de los agregados), lo que en el H<sup>o</sup> tradicional, se logra mediante una mayor cantidad de agua (es el lubricante que permite que los agregados se acomoden mejor), siendo que precisamente la relación A/C (agua/cemento) es determinante a la hora de conseguir mejores resistencias.
- Las plantas de Dosificación y Mezclado (en general se usan las mismas plantas que poseen las empresas viales para la elaboración de los “estabilizados granulares”), y el Cargador Frontal que abastece la planta, son mecanismos sencillos, de bajo costo y de alta producción horaria (en general, a los mismos valores de costo, su producción horaria es más del doble que una planta de dosificación – mezclado de hormigón).
- Para el transporte hasta el lugar de utilización y el volcado solo se requiere camiones con caja volcadora en buen estado y con lona para el tapado, que impida una excesiva pérdida de humedad durante el traslado (en H<sup>o</sup> se requieren camiones con “mixcers”, de mayor costo y de menor disponibilidad en el mercado).

- Si la superficie a recubrir con H.C.R. es importante, y es lineal (caso típico de un camino), se puede llegar a aprovechar la ventaja del mayor rendimiento de producción y colocación, lo que en definitiva redundará en una economía final en los costos.
- Debido a su menor relación agua cemento con relación a un hormigón vibrado normal, similarmente a la grava – cemento, la retracción por pérdida de agua es menor, porque prácticamente toda el agua se utiliza en la hidratación del cemento, no habiendo exceso que se elimine por evaporación.
- La ejecución de juntas no es tan apremiante en el tiempo, como sí lo es en el caso del hormigón.
- Cabe destacar que su “capacidad soporte inmediata”, es decir, que el esqueleto de los áridos que lo forman tenga una capacidad resistente de por sí, hace posible que el HCRV sea capaz de soportar el paso inmediato del tránsito. Esta cualidad es muy importante en el caso del refuerzo de una carretera existente en la que no hay posibilidades de desvío de tránsito, o bien en una calle urbana en la que hay que mantener cerrado el tránsito lo menos posible (por ejemplo, para un bacheo profundo).
- Al igual que en el H<sup>o</sup> tradicional, sólo requiere una superficie de apoyo o “firme” de características homogéneas, lo que en determinadas situaciones se vuelve una ventaja económica de gran trascendencia sobre los pavimentos asfálticos o flexibles.

Como inconvenientes pueden mencionarse los siguientes:

- La regularidad superficial en caso de ejecutarse con motoniveladora, es un poco deficiente y ello obliga a construir encima una capa de rodadura que consiste en una carpeta asfáltica de algunos centímetros de espesor, para absorber tales irregularidades.
- Debe tenerse mucho cuidado con las variaciones en la cantidad de agua de la mezcla, ya que el HCR se ve notoriamente perjudicado ante estas variaciones. Esto hace que los controles y los cuidados a tomar sean mayores.
- La terminadora – extendedora debe poseer una muy alta capacidad y con doble vibración en la cola (regla enrasadora), pues la utilización de distribuidoras de materiales sin vibración, dejan una superficie que generalmente no cumple con los actuales requisitos de terminación en rutas nacionales (rugosidad longitudinal). Esto obviamente aumenta los costos.

## APÉNDICE

### Desarrollo de un estudio de laboratorio (realizado en la ciudad de Santa Fe)

Los materiales utilizados para dicha experiencia fueron los siguientes:

- Agregado grueso: el material elegido (por cuestiones de disponibilidad) fue piedra granítica partida, procedente de la provincia de Córdoba. Se adoptó un material con un tamaño máximo nominal menor al que se exige habitualmente para hormigones de pavimento, ya que cuanto mayor sea la partícula, mayor será la energía que se debe aplicar para conferirle movilidad necesaria y lograr una buena compactación.

Retenido sobre tamiz N°					
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8
4	23	51	65,5	95,7	100

- Agregado fino: el material elegido fue arena sílicea procedente del Río Paraná, con un módulo de finura igual a 2,53.

Retenido sobre tamiz N°					
4	8	16	30	50	100
0,9	4,1	10,9	49	88,6	99,7

- Cemento: se utilizó Cemento Portland, del tipo Normal, con las siguientes características:

Resistencia	7 días	28 días
Compresión	240 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>
Flexión	50 kg/cm <sup>2</sup>	85 kg/cm <sup>2</sup>

Primeramente, se procedió a medir cual era la incidencia de la vibración de las partículas para los efectos de acomodamiento y orientación de las mismas. El dispositivo utilizado fue una mesa vibratoria conformada por una plataforma metálica montada sobre cojinetes de acero (75 cm de lado), accionado por un vibrador electromagnético que produce una frecuencia de 3600 vibraciones por minuto, y una amplitud de vibración variable entre 0,05 y 0,60 mm.

Inicialmente, se determinó que cantidad de material grueso puede entrar, en forma independiente, dentro de un determinado volumen. Los valores obtenidos (en kg/dm<sup>3</sup>) fueron:

#### Agregado grueso (superficie saturada seca)

Amplit. (mm)	0,25	0,37	0,47	0,60
Tiempo (seg)				
15	1,659	1,684	1,694	1,692
30	1,688	1,705	1,717	1,715
45	1,699	<b>1,724</b>	1,687	1,696
60	1,700	1,72	1,704	1,701

Se puede apreciar que máximo de densificación se obtiene no necesariamente con la mayor amplitud de vibrado, ya que una vez alcanzado el ordenamiento interno máximo, un exceso en la magnitud de la energía aplicada solamente puede producir un efecto contrario al deseado. Además, se puede observar que la falta de tiempo produce una deficiencia en la compactación, debido a que las partículas no alcanzan a ordenarse definiendo una estructura suficientemente compacta, así mismo, un exceso en el mismo, produciría en la masa total una especie de esponjamiento. Podemos así adoptar como densidad máxima aparente del agregado grueso el valor 1.72 kg/dm<sup>3</sup>, para un tiempo de 50 segundos y una amplitud de 0,40 mm.

Posteriormente, se procedió de igual manera para definir la densidad máxima aparente del agregado fino, sólo que a este material se lo consideró en dos estados distintos.

Agregado fino (en estado seco)

Amplit. (mm)	0,25	0,37	0,47	0,60
Tiempo (seg)				
15	1,768	1,768	1,757	1,750
30	1,779	1,779	1,761	1,754
45	1,793	1,768	1,754	1,751
60	<b>1,796</b>	1,761	1,757	1,754

Se puede observar que, si bien para lograr una D.M.A. (densidad máxima aparente) se requieren aproximadamente 60 segundos de vibrado, la fuerza necesaria para esto será sensiblemente menor que en el caso del agregado grueso, más aún, el exceso de la fuerza de vibrado produce en este material un efecto totalmente contrario a los deseos de compactación.

Agregado fino (superficie saturada seca)

Amplit. (mm)	0,25	0,37	0,47	0,60
Tiempo (seg)				
15	1,65	1,693	1,714	1,689
30	1,675	1,714	1,736	1,721
45	1,704	1,738	<b>1,750</b>	1,729
60	1,696	1,736	1,739	1,732

En este estado, la mejor compactación se obtiene a los 45 segundos, a pesar que ésta se logra con una fuerza mayor que en el agregado grueso.

Una vez definido el comportamiento de los áridos, cuando son sometidos a la acción de fuerzas vibratorias, se procedió al cálculo de distintos dosajes. Las mezclas logradas fueron compactadas por vibración, utilizando la mesa antes descrita. El moldeo de las probetas se realizó en dos capas de igual volumen, vibrando a cada una de ellas durante 45 segundos, con una amplitud de 0,40 mm.

En una primera etapa, se determinó la cantidad de piedra capaz de ingresar a un determinado volumen; los vacíos que deja ésta son completados con arena y, los que a su vez resultan de la mezcla piedra – arena, son completados con pasta cementicia, la que deberá recubrir cada partícula de árido componente en la mezcla total. Se mantuvo constante la cantidad de cemento, fijando su valor en 350kg/m<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Dosajes					Densidades			Resist. Mec. (kg/cm <sup>2</sup> )		
Identif.	% Pie.	% Ar.	% C.	% A	Húmeda	Seca	% resp	Comp.		Trac.
					(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	D.M.A	7 día	28 día	7 día
A	67,9	18,3	13,8	3,9	2,63	2,23	84,7	113	160	20,9
B	63,1	22,8	14,1	4,8	2,6	2,34	90	214	280	36,2
C	49,8	35,8	14,4	5,4	2,55	2,54	99,4	389	510	38,1

En los hormigones tradicionales, un aumento en le tenor de agua produce una disminución en la resistencia, pero en el caso del HCR, el aumento de agua produce una mejor lubricación de las partículas, lo que permite un mayor acomodamiento interno, por lo que se produce un incremento en la densidad. Dicho de otra manera, se produce una disminución en la cantidad de vacíos.

En una segunda etapa, se dosificó utilizando como fórmula de cálculo el método del Ingeniero García Balado. Para una misma proporción de agregados y cemento, se varió la cantidad de agua de la mezcla. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Dosajes					Densidades			Resist. Mec. (kg/cm <sup>2</sup> )		
Identif.	% Pie.	% Ar.	% C.	% A	Húmeda	Seca	% resp	Comp.		Trac.
					(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	D.M.A	7 día	28 día	7 día
D	53	33	14	5,45	2,56	2,428	100	381	501	39,6
E	53	33	14	5,3	2,52	2,393	98,6	329	444	38,7
F	53	33	14	5,1	2,498	2,377	97,9	268	371	35,4
G	53	33	14	4,8	2,427	2,316	95,4	255	332	32,2

Puede observarse que el aumento de la resistencia es inversamente proporcional a la cantidad de aire contenido en la mezcla.

La mezcla a adoptar debe ser aquella que se ajuste mejor a las características técnicas de la obra y los equipos con los que se cuenta en la misma. Las mezclas así logradas adquieren una orientación interna de sus partículas que les permite obtener una mejor definición estructural.

Es muy importante la densificación final del material, pero también la distribución y el acomodamiento de las partículas que lo integran, por lo que es aconsejable la utilización de una distribuidora que le confiera alta densidad (mayor del 90%), mediante energías combinadas de cargas y vibraciones, de manera que el rodillo vibrador sólo complete la densificación restante. Si se siguen estas recomendaciones se obtendrán grandes beneficios, ya sea desde el punto de vista estructural, como así también el económico.

**Bibliografía:**

- “Aplicación vial del Hormigón Compactado con Rodillo “, Ing. Alfredo J. Bonansea, ICPA.
- “Hormigón Compactado con Rodillo de uso vial”, Experiencia Argentina por los Ing. J. A. Galizzi, M. Aubert, C. A. Rodó Serrano, ICPA.
- Conferencia: ”El hormigón seco compactado en la construcción de carreteras”, Ing Carlos Jofré, Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 1995
- Pliego de Especificaciones Técnicas para Tramo Experimental de Hormigón Compactado a Rodillo(HCR). Instrucción de trabajo(1987) ICPA.

## **ÍNDICE TEMÁTICO**

TEMA	PÁGINA
Resumen	1
Introducción	2
Materiales – Dosificación	2
Capacidad estructural – Ensayos	4
Diseño estructural	4
Calidad superficial	5
Fisuración	5
Métodos constructivos	6
Sección de ensayo	10
Controles de calidad	11
Experiencias en el mundo	12
Experiencias argentinas	13
Consideraciones – Conclusión	16
Apéndice: Estudio en laboratorio	18
Bibliografía	22