



## **HORMIGONES ESPECIALES**



## **CONSIDERACIONES**

*Las presentes notas de clase son una breve síntesis sobre los hormigones especiales que tiene como objetivo introducir al alumno en esta temática. Los hormigones especiales constituyen un campo amplio de conocimiento y presenta una dinámica de continuas innovaciones, razón por la cual las tecnologías se van tornando rápidamente obsoletas.*

## **HORMIGON LIVIANO**

### **Introducción**

Los hormigones livianos son hormigones de densidades menores a las de los hormigones normales hechos con agregados livianos. Según la definición del reglamento CIRSOC 201-M es el hormigón cuya masa por unidad de volumen, del material seco hasta masa constante, ( $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) es menor que  $2.000\text{ kg/m}^3$ .

La disminución de la densidad de estos hormigones se produce por presencia de vacíos en el agregado, y/o en el mortero o entre las partículas de agregado grueso. Esta presencia de vacíos ocasiona la disminución de la resistencia del Hormigón, por lo que muchas veces la resistencia no es condición predominante para los hormigones de este tipo.

En construcciones de hormigón, el peso propio de la estructura representa una proporción importante en la carga total de la estructura por lo que reducir la densidad del mismo resulta muy beneficioso.

### **Clasificación de hormigones livianos**

Los Hormigones livianos se pueden clasificar según su método de Producción en:

- ❖ Hormigón de Agregado Liviano: Uso de agregados livianos porosos de baja densidad aparente que pueden ser naturales o artificiales.
- ❖ Hormigón Aireado, celular, espumoso o gaseoso: Se introducen una gran cantidad de vacíos dentro del hormigón.
- ❖ Hormigón sin finos: Se omite el agregado de finos, por lo que gran número de vacíos intersticiales están presentes.

Clasificación según el uso:

- ❖ Hormigón Liviano Estructural: Se clasifica en función de una resistencia mínima, una densidad en estado seco que generalmente no excede los  $1840\text{ kg/m}^3$ .
- ❖ Hormigón usado en unidades de Mampostería
- ❖ Hormigón aislante: Se clasifica en función de su coeficiente de conductividad térmica, que debe estar por debajo de los  $0.3\text{ J/m}^2/\text{s }^{\circ}\text{C/m}$  y su densidad es más baja que para los hormigones livianos estructurales.

### **Clases de resistencia y aplicaciones**

El hormigón liviano de obra se clasifica en función de su resistencia característica de rotura o compresión correspondiente a la edad de 28 días, determinada mediante ensayos de probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, como se muestra en la tabla 1



**Tabla 1. Clases de resistencia del hormigón liviano y aplicaciones**

1	2	3		4		5	6
Hormigón grupo	Hormigón de <a href="#">clase</a> de resistencia	Resistencia característica ( $f_{bk}$ ) a la edad de 28 días, según lo establecido en el artículo 6.6.2.1 del CIRSOC 201		Resistencia media mínima de cada serie de 3 ensayos consecutivos, según lo establecido en el artículo 6.6.3.11.2 a) del CIRSOC 201		Cumple las condiciones establecidas en los artículos del CIRSOC 201	Aplicaciones
		MN / m2	(kgf / cm2)	MN/m2	(kgf / cm2)		
HL - I	HL - 4	4	(40)	7,0	(70)	6.6.3	Hormigón simple únicamente
	HL - 8	8	(80)	12,0	(120)		
	HL - 13	13	(130)	17,5	(175)		
	HL - 17	17	(170)	21,5	(215)		
HL - II	HL - 21	21	(210)	26,0	(260)	6.6.4	Hormigón simple y hormigón armado
	HL - 30	30	(300)	35,0	(350)		

## **HORMIGONES LIVIANOS CON ARIDOS LIVIANOS**

Tipos de Agregados Livianos:

**De origen natural:** Corresponden a materiales en los cuales ha quedado aire atrapado en su interior durante su proceso de formación. Esta situación se presenta, por ejemplo, en las rocas de origen volcánico, como ser las lavas y las piedras pómez, siendo este ultimo el árido liviano mas utilizado.

Otro tipo de áridos de origen natural constituye los originados mediante deshechos de la madera, entre los cuales se cuentan las virutas y el aserrín. La obtención de hormigones livianos con este tipo de áridos debe considerar especialmente el efecto retardador que algunos tipos de madera ejercen sobre el fraguado de la pasta de cemento, debiendo preverse en algunos casos el tratamiento de estos materiales para atenuar o inhibir los efectos señalados.

**De Origen Artificial:** Los áridos de origen artificial corresponden a materiales especiales, tales como pizarras, arcillas, esquistos, los que al ser tratados mediante calor hasta su fusión incipiente y producirse en su interior desprendimiento de gases de los materiales que los constituyen, se expanden, disminuyendo su densidad. La producción de este tipo de áridos requiere de una metodología muy estudiada para definir si un determinado material tiene características que lo transformen en expandible y las condiciones en que esta expansión puede producirse.

Se cuentan también en este tipo de áridos los provenientes de la escoria granulada de alto horno, la cual en condiciones apropiadas de enfriamiento puede producir áridos de baja densidad. En este tipo de árido debe examinarse con cuidado su contenido de cenizas, pues estas pueden ejercer efectos nocivos sobre la pasta de cemento.



Los áridos livianos de origen artificial permiten obtener hormigones de menor densidad y mayor resistencia que los de origen natural.

### **HORMIGON GASEOSO**

La forma de obtener este tipo de hormigones livianos es mediante la incorporación de gas en la masa del mortero a los efectos de producir una estructura celular que con tenga vacíos entre 0.1 y 1 mm. El hormigón que resulta de este proceso se llama Gaseoso o Celular, aunque no se lo debería llamar hormigón debido a que no hay agregado grueso en él.

Se pueden obtener de dos maneras:

- Mediante reacciones químicas que generan un gas en el mortero fresco de modo que la consistencia del mismo debe ser tal que permita que el gas se expanda pero no se escape. Por lo tanto se combinan la velocidad de evolución del gas, la consistencia y el tiempo de fraguado. El mas usado en este proceso es el polvo de aluminio, que se dosifica en proporciones del orden del 0.2% de la masa de cemento, puede usarse además polvo de zinc, aleaciones de aluminio o peróxido de hidrógeno. Reacciona entonces el polvo activo con el hidróxido de calcio o los álcalis, y en esta reacción se liberan burbujas de hidrógeno.
- Mediante la adición de un agente espumoso (jabones de resina o proteínas hidrolizadas) a la mezcla. Se realiza el mezclado a alta velocidad y el agente incorporado estabiliza e introduce burbujas a la mezcla. A veces se incorpora directamente una espuma estable en una mezcladora común.

**Usos:** Principalmente se usa para depósitos de asilamiento de calor por su baja conductividad térmica y por ser incombustible. También se realizan bloques o elementos premoldeados y contrapisos .

#### **Ventajas y Desventajas:**

- ❖ Puede aserrarse, clavarse es bastante durable.
- ❖ Tiene alta absorción de agua pero el índice de penetración del agua es bajo porque no se llenan los poros más grandes.
- ❖ Tiene resistencia medianamente buena al congelamiento y puede usarse en la construcción de muros.

### **HORMIGONES PESADOS**

#### **Definición:**

Tipo de hormigón cuya masa por unidad de volumen, del material seco hasta masa constante es mayor que  $2.800 \text{ kg/m}^3$  (CIRSOC 201-2002).

#### **Cuando es conveniente usarlo:**

- ✓ En contrapeso de puentes levadizos.
- ✓ Como protección biológica de personas y material frente a los rayos X y rayos gamma en ambientes donde se realizan radiografías industriales y en instalaciones de terapia médica, así como en aceleradores de partículas y reactores nucleares. El efecto de protección se da frente a la radiación gamma y a los neutrones rápidos.



### **Características particulares de: materiales componentes, forma de mezclado, colocación y transporte.**

- ✓ Características particulares: Este tipo de hormigón es un buen material de protección debido a que posee los elementos precisos para capturar los neutrones y atenuar la radiación gamma. Posee hidrógeno, agua en el gel de cemento hidratado, agua libre entre sus poros y agua de cristalización en algunos áridos, especialmente si éstos son pesados seleccionados con este fin, puesto que al mismo tiempo que actúan frenando los neutrones, al poseer calcio, silicio e hierro, pueden absorber también las radiaciones gamma.
- ✓ Agregados a utilizar: con alta densidad. Deben poseer la características de no reaccionar en forma deletérea con el cemento, y contener altos contenidos de hidrógeno para poder cumplir la función de protección frente a los rayos gamma. Los principales son:

Tipo de agregado	Peso específico del agregado	Densidad del hormigón
Limolita	3,4 - 4	2883 - 3364
Barita	4 - 4,6	3364 - 3684
Ilmenita	4,3 - 4,8	3524 - 3844
Magnetita	4,2 - 5,2	3364 - 4165
Ferrosforo	5,8 - 6,8	4085 - 5286
Perdigones y pepitas de acero	6,2 - 7,2	4645 - 6087

- ✓ Para el amasado de este tipo de hormigón se debe utilizar mezcladoras de eje vertical, debido a la mejor eficacia del amasado de la pasta, sin embargo no es aconsejable utilizar mezcladoras vasculantes por que los esfuerzos sobre el eje son muy grandes.
- ✓ Para la puesta en obra de esta clase de hormigón se debe extremar la vigilancia para evitar problemas de segregación y posibles descuidos de compactación.
- ✓ En relación al transporte se debe considerar que tienen una alta densidad lo que implica que el camión no debe ser cargado por completo con el material, sino que en vez de cargarlo con 8m<sup>3</sup> se lo carga por ejemplo con 6 m<sup>3</sup>.
- ✓ Este tipo de hormigón suele tener problemas de segregación.
- ✓ En estado endurecido un factor preocupante puede ser la fisuración.

### **4. Bibliografía:**

- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4377/31/03.pdf>
- <http://ingenieria-civil2009.blogspot.com/2009/07/hormigones-especiales.html#8.-%20Hormig%C3%B3n%20pesado>
- <http://www.unc.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/pesadoT8.htm>
- Normativas CIRSOC 201-2002
- Videla, C. "Tecnología del Hormigón". Depto. De Ingeniería y gestión de la Construcción. Universidad Católica de Chile. Año 2007
- A.M. Neville Y J.J. Brooks, "Tecnología del Concreto". Editorial Trilla. Año 1998
- "Concrete Manual"- Denver Colorado, EEUU. Año 1975
- Manuel Fernández Canova. "Hormigones". Editorial Rgerte, Madrid. 1991.
- Annual Book of ASTM Standards. 2000

## **HORMIGÓN MASIVO**



### Definición:

Según el reglamento CIRSOC 201-M se lo define como “*al hormigón colocado en secciones macizas cuya menor dimensión lineal sea igual o mayor de 750 mm.*” Dado que el hormigón tiene una baja conductibilidad térmica, en grandes volúmenes de hormigón **el calor generado por el proceso de hidratación se disipa muy lentamente, generando elevadas temperaturas en la masa del hormigón.** Esto origina un significativo diferencial de temperatura entre las diferentes secciones del hormigón y la del ambiente, generando cambio de volumen y por ende restricciones internas que dan como resultado deformaciones y tensiones de tracción en la masa del hormigón, que pueden causar fisuración del elemento estructural. Con H° Masivo se construyen componentes de grandes dimensiones como presas hidráulicas.

### Características de los materiales

Uso de agregados gruesos del mayor tamaño máximo posible, dado que de esta manera se reduce el contenido de cemento en la mezcla.

Es preferible el uso de cementos especiales de Bajo Calor de Hidratación (BCH), contemplado en la Norma IRAM 50001.

### Opciones de diseño

Los ingenieros utilizan una variedad de enfoques para abordar la posibilidad de craqueo térmico y crear con éxito hormigón masivo.

Siempre lo que se busca es una reducción en la generación del calor interno, por ende en la temperatura interna de la masa del hormigón y de disminuir los gradiente de temperatura.

Estos métodos incluyen:

- Definición de proporción de cemento en la mezcla.
- Protección de las superficies expuestas y el encofrado de los extremos (partes en contacto con el medio ambiente).
- Uso de agregados con propiedades térmicas.
- Pre-enfriado de los materiales que constituyen el hormigón, usando tuberías internas para enfriar el hormigón.
- Materiales complementarios en la mezcla, tales como puzolanas, escorias o cenizas volantes.
- Uso en la mezcla de contenidos bajos de cemento.
- Uso de cementos especiales de bajo calor de hidratación.

Muchos elementos estructurales grandes pueden ser suficientemente Masivos para que la generación de calor deba ser considerada,

Particularmente cuando la dimensión mínima de la sección transversal del elemento sólido se aproxima o excede de 60 a 90 cm o cuando el Contenido de cemento excede 350 Kg/m<sup>3</sup>

A modo de ejemplo, a continuación se detalla el tiempo en que se pueden estabilizar térmicamente los distintos elementos estructurales:

- Un tabique de hormigón de 150 mm de espesor, en el orden de 1 ½ hora.
- Un muro de hormigón de 1,50 metros de espesor, en el orden de una (1) semana.
- Un muro de hormigón de 15 metros de espesor, en el orden de dos (2) años.

En un hormigón masivo no armado no existe restricción para la elección del tamaño máximo del agregado. En un hormigón masivo armado, el tamaño máximo del agregado grueso se encuentra limitado por la configuración de los encofrados y de las armaduras, y debe ser



compatible además, con los procedimientos a usar para el mezclado, transporte, colocación y compactación del hormigón.

### **Durabilidad**

Para asegurar la durabilidad se debe considerar particularmente las temperaturas máximas y controlar las variaciones volumétricas causadas por procesos térmicos.

### **Conclusiones**

El diseño de hormigón trae consigo muchos retos, entre ellos la generación de calor y los problemas que pueden derivarse de ello. Se sabe que el diseño cuidadoso de hormigón masivo puede minimizar o eliminar muchos problemas, y la futura investigación en este ámbito nos permitirá crear proyectos más grandes que nunca.

### **Bibliografía**

- [www.hormigonerospr.org](http://www.hormigonerospr.org)
- [www.inti.gov.ar](http://www.inti.gov.ar)
- <https://www.u-cursos.cl>
- [www.frlp.utn.edu.ar](http://www.frlp.utn.edu.ar)
- [www.ich.cl](http://www.ich.cl)
- A.M. Neville Y J.J. Brooks, “Tecnología del Concreto”. Editorial Trilla. Año 1998
- “Concrete Manual”- Denver Colorado, EEUU. Año 1975
- Manuel Fernández Canova. “Hormigones”. Editorial Rgerte, Madrid. 1991.
- Annual Book of ASTM Standards. 2000

## **HORMIGON POROSO**

### **Introducción**

Es un hormigón especial que contiene los componentes básicos de un hormigón convencional (cemento, agua, árido fino, árido grueso y aditivos), pero dosificado con el objetivo de obtener un índice de poros superior a éste. Dicho aumento de la porosidad se consigue eliminando un porcentaje notable de árido fino, y proporciona una serie de características particulares a este tipo de hormigón tales como: capacidad de drenaje, absorción de ruido, etc.

La estructura interna de un hormigón poroso puede describirse como un conjunto de partículas de árido grueso unidas entre si por puentes constituidos por el mortero (cemento y árido fino). Estos puentes son los que le proporcionan la resistencia al hormigón.

### **Parámetros de diseño en el hormigón poroso**

Durante la fase de proyecto de un hormigón poroso se debe atender a exigencias de resistencia y de porosidad/ permeabilidad del mismo. Ambas exigencias son antagónicas: la mejora de una de ellas se realiza en detrimento de la otra.

Además de la resistencia y la porosidad, se debe atender a otras propiedades como durabilidad, deformabilidad, fatiga, etc.

La obtención de un hormigón poroso adecuado no pasa por maximizar ninguna magnitud en particular, sino por alcanzar un equilibrio entre todas ellas. Para lograr ese equilibrio es imprescindible conocer como se traducen a nivel de propiedades, las variaciones de los parámetros introducidas en su dosificación.



Los parámetros relevantes en la dosificación son:

1. D: Tamaño máximo del árido.
2. F/G: Relación árido fino/árido grueso.
3. C: Tipo y dotación del cemento.
4. A/C: Relación agua cemento.
5. DA: densidad aparente.

### Aspectos hidráulicos:

El parámetro fundamental en la caracterización hidráulica del hormigón poroso es la permeabilidad K:

$$K = v / i$$

Donde  
**v**: velocidad media de filtración  
**i**: gradiente hidráulico

La circulación del agua a través del hormigón poroso, incluso para valores de i relativamente bajos, tiene un carácter turbulento. Dicho flujo da lugar a que la permeabilidad dependa del gradiente hidráulico.

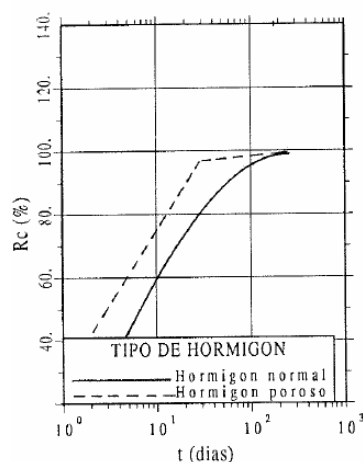
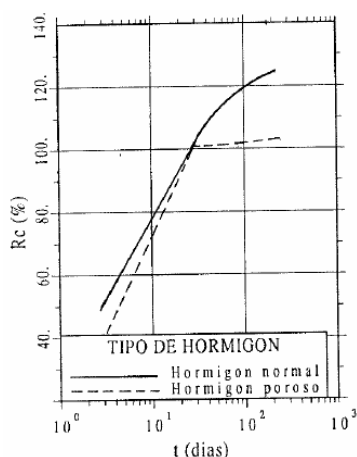
### Análisis de la resistencia

Las dos particularidades que presenta el hormigón poroso, hacen referencia:

1. Evolución de la resistencia en el tiempo.
2. Evolución entre las resistencias obtenidas con distintos tipos y tamaños de probetas.

A partir de los 28 días el hormigón poroso apenas adquiere mayor resistencia, cuando el convencional puede aumentar aun en un 20% o 30% con respecto al valor de referencia.

Se produce una ganancia de resistencia más rápida en el hormigón poroso que en el convencional, sobre todo a primerísimas edades. La estructura porosa facilita las reacciones que se producen acelerando el proceso de endurecimiento en relación a un hormigón convencional.



La resistencia flexo tracción se sitúa, como valor medio, en el orden 24% de la resistencia a la compresión, mientras que en un hormigón convencional dicho valor está alrededor del 16%.





La resistencia a tracción indirecta da un valor del 15% respecto a la resistencia a compresión en el hormigón poroso, mientras que un hormigón normal este valor se sitúa alrededor del 10%.

La relación entre la resistencia tracción indirecta y a flexo tracción se sitúa en el entorno del 63% para un hormigón poroso y del 52% para un hormigón convencional.

En un hormigón poroso la relación entre la carga correspondiente a la primera fisura y la carga de rotura es mayor que un hormigón convencional.

### **Requisitos**

Asegurar el adecuado comportamiento de la estructura en servicio durante la vida de la misma. Una propiedad fundamental de este tipo de hormigón es su porosidad, y en consecuencia, la permeabilidad asociada. Es necesario lograr un equilibrio entre ambas propiedades.

### **Ventajas**

- Disminución del riesgo de deslizamiento en el usuario peatonal o de aquaplaning en los vehículos.
- Mejora de las condiciones de reflexión de las luces de los vehículos y otras luces exteriores.
- Disminución de las salpicaduras procedentes del tráfico de otros vehículos.
- Disminución de la longitud de frenado.
- Disminución de ruidos en carreteras

Aparte de la seguridad, estas características inciden en la confortabilidad del usuario.

### **Durabilidad**

Se le debe exigir un adecuado comportamiento durante la vida de la estructura frente a los agentes agresivos que pueden incidir en su durabilidad y funcionamiento. Estos agentes pueden agruparse en: condiciones climáticas, acción mecánica del tráfico, agentes externos de aportación.

Condiciones climáticas (radiación solar incidente, acción mecánica del tráfico, agente externo de aportación). Estas son inherentes a la ubicación de la estructura por lo que usualmente no es posible actuar sobre las mismas.

Acciones mecánicas del tráfico, el tipo de tráfico y la intensidad inciden en el comportamiento a fatiga. Dentro de los agentes externos de aportación puede señalarse, polvo y arrastres sólidos, aceites y derivados, sales de deshielo. El polvo y los arrastres sólidos pueden provoca con el tiempo problemas de colmatación.

Los aceites, grasas y otros productos similares afectan al hormigón poroso de forma análoga que a un hormigón convencional y sus efectos, dependerán de la mayor o menor facilidad de progresión en la masa interna del hormigón y de las características de los puentes de unión de la masa.

Las sales de deshielo, actúan químicamente degradando el hormigón poroso usual. Para evitar esto, se utilizan polímeros. Estos tienen buen comportamiento frente a agentes químicos



### **Adecuación ambiental**

Los requisitos que ayudan a contribuir a una mejora de la calidad de vida de los usuarios son: disminución de ruidos exteriores, buen drenaje y descanso visual. El hormigón poroso en capa de rodadura no solo contribuye a reducir el ruido interior del vehículo, sino también el ruido exterior emitido. Muy utilizado para vías urbanas o semi-urbanas.

El requisito de drenaje quiere expresar el beneficio que aporta la capa de hormigón porosa a: pequeños embalses de regulación frente a aguaceros, reduciendo el riesgo de charcos y los efectos derivados.

La versatilidad que da el color y la textura contribuyen a una adecuada inclusión paisajística y a un descanso visual que mejora la calidad de vida del usuario; reduciendo la reflexión de luces y las salpicaduras.

### **Aspectos económicos**

Se debe evaluar los costos iniciales más el mantenimiento. El material, especialmente el conglomerado, es el factor principal del costo que diferencia una solución de otra. Tenemos como opciones aumentar el espesor de la capa de rodadura reduciendo la cantidad y las prestaciones mecánicas del conglomerado.

Con respecto al mantenimiento hay que considerar el riesgo de colmatación tomando medidas para evitarlo y facilitar la regeneración de la estructura porosa (parámetro que más incidirá en el costo)

### **Aplicaciones**

A la hora de decidirse por la aplicación de un hormigón poroso, o de cualquier otro material debemos establecer un equilibrio entre los costos iniciales y el mantenimiento. Los hormigones porosos resultan más baratos en sus costos iniciales pero tienen menor vida útil debido a su menor compacidad, granulometría más abierta y menor contenido de cemento. Se utilizan en: banquetas, Bases y/o subbases y Capa de rodaduras

Banquetas: Aquí se utilizan los hormigones porosos para evacuar con rapidez el agua que puede acumularse en la zona situada entre el pavimento de hormigón, la base grava cemento y el arcén. El agua en dicha zona tiene influencia en el deterioro de las losas por el posible bombeo de los finos y el descalce de las losas.

Bases y/o sub-bases:

Se busca absorber las tensiones originadas por el tráfico. También es de gran interés la aplicación en terrenos planos de difícil drenaje sobre todo para ciudades en crecimiento donde no es posible aumentar las dimensiones del alcantarillado.

Capa de rodadura:

El hormigón poroso está sometido a la acción directa de las cargas de tráfico y de las condiciones ambientales. Para esto es necesaria la adición de diferentes materiales, lo cual implica un aumento del costo.



## **HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS**

### **Concepto**

Hormigón de cemento Portland que, además de los materiales componentes tradicionales, contiene fibras cortas discontinuas distribuidas uniformemente al azar dentro de la matriz cementicia con el objeto de reforzar la misma.-

### **Antecedentes históricos**

- Fibras vegetales para reforzar arcilla (hornero).-
- Pelos de animales para reforzar morteros.-
- Asbesto cemento (principios de Siglo XX).-
- Hormigón reforzado con fibras de vidrio (1920).-
- Hormigón reforzado con fibras de vidrio compatible con medio alcalino (1960).-
- Morteros y hormigones reforzados con fibras (1970).-

### **Clasificación**

- Por su naturaleza se pueden clasificar en:
- MINERALES: por ejemplo amianto.-
- ORGANICAS: como algodón, rayón , sintéticas.-
- METALICAS: acero.-

### **Fibras de vidrio**

- ✓ La fibra de vidrio debe ser resistente al ataque de los álcalis del cemento.-
- ✓ La longitud de este tipo es de hasta 40 mm
- ✓ Son muy utilizadas en paneles de Fachadas (propósitos arquitectónicos o de revestimiento). También se usa para tabiques antifuego, muros antirruído y como encofrados perdidos.-

### **Fibras de Acero**

- ✓ Las fibras tienen diámetros entre 0.3 a 1 mm y su longitud 25 a 75 mm.
- ✓ Suelen tener diversas formas siendo las onduladas y las con anclajes en sus extremos las más comunes.
- ✓ Los aceros que se usan son aceros al Carbono o inoxidable.
- ✓ El mezclado de las fibras se realiza al final del proceso de amasado.
- ✓ Estos hormigones tienen menos docilidad que los hormigones tradicionales.
- ✓ Debe preverse una dispersión uniforme de las fibras y prevenirse una segregación o enredo de las fibras.
- ✓ Estos hormigones tienen mayores contenidos de cemento (de 300 a 500 kg/m<sup>3</sup>) y de agregado fino como así también tamaños menores de agregado grueso.
- ✓ El hormigón con fibra de acero se usa también como hormigón proyectado.
- ✓ El contenido de fibra generalmente está entre 1 al 3% en volumen y con el aumento de este se incrementan las propiedades mecánicas pero se perjudica la trabajabilidad.
- ✓ La introducción de la fibra de acero, siempre que sea posible, debe realizarse en central para asegurarse una calidad controlada. No obstante, también puede realizarse la adición en la obra o en el camión hormigonero, mediante los siguientes métodos: introducción manual, aparato inyector, cinta transportadora, dosificación automática, etc.
- ✓ Se usan para Pavimentos industriales, pistas de aeropuertos, elementos prefabricados, túneles evitando así la colocación de la malla electro soldada.



- ✓ Son más vulnerables a la corrosión que el Hormigón armado convencional, aunque su comportamiento es muy bueno si no hay figuración. Cuando el ambiente es agresivo el hormigón tiende a fisurarse por lo que es imprescindible el uso de acero inoxidable.

### **Fibra de polipropileno**

- ✓ En este caso las fibras son de polímeros, (plásticas) son también resistentes a los álcalis.
- ✓ Sus propiedades mecánicas son bajas (con módulos de elasticidad pequeños y adherencia reducida)
- ✓ Las longitudes de las fibras van entre 10 a 60 mm.
- ✓ Estas son agregadas en la hormigonera en cantidades de 1 a 3% del volumen.
- ✓ El uso de estas fibras busca controlar el agrietamiento por retracción por secado, expansión y contracción, disminuir la permeabilidad aumentar la resistencia al impacto, abrasión y delaminación.
- ✓ Se usan mayormente como refuerzo de morteros, controlando la fisuración por retracción, para elementos prefabricados (mejoran la resistencia al impacto y al fraccionamiento de las piezas terminadas) y para Hormigones proyectados, en los que se producen menores pérdidas por rebote y se consiguen mayores espesores sin descuelgues de material.
- ✓ Buena trabajabilidad e impermeabilidad final de la estructura.-
- ✓ En el hormigón fresco reduce la formación de micro fisuras en el fraguado, responsables de la aparición posterior de fisuras de retracción
- ✓ En el hormigón endurecido aumenta la resistencia al impacto y la estabilidad dimensional
- ✓ Aumenta la resistencia al fuego.
- ✓ Aumenta el índice de tenacidad y disminuye la permeabilidad.
- ✓ Mejora el comportamiento del hormigón frente a la abrasión.
- ✓ La fibra de polipropileno puede tratarse sin problemas en cualquier mezclador de circulación forzada. Se puede añadir tanto a la mezcla en seco como inmediatamente después de la dosificación de agua en la hormigonera o en el hormigón fraguado.
- ✓ El tiempo ideal de mezclado en la hormigonera es de aproximadamente 1 min/m<sup>3</sup> y en la instalación mezcladora de la planta de hormigón de unos 30 a 50 segundos.
- ✓ Usos Típicos: Carreteras, losas de puentes y túneles.
  - Losas de estacionamiento
  - Tuberías de H<sup>2</sup>O, cámaras de inspección
  - Estructuras anti-impacto
  - Sobrelosas
  - Barreras de contención

### **Otras Fibras**

- ✓ Alúmina y Carbono: se utilizan solo en la obtención de hormigones por extrusión.-
- ✓ Algodón, Rayón y Poliéster: muy atacables por los álcalis.-
- ✓ Nylon: adecuadas cuando se requiere elevada resistencia al impacto y a las explosión.-
- ✓ Fibras naturales ( en su mayoría de origen vegetal).

### **Mezclado**



El mezclado de las fibras se realiza al final del proceso de amasado, estos hormigones tienen menos docilidad que los hormigones tradicionales.

Debe preverse una dispersión uniforme de las fibras y prevenirse una segregación o enredo de las fibras.

Estos hormigones tienen mayores contenidos de cemento (de 300 a 500 kg/m<sup>3</sup>) y de agregado fino como así también tamaños menores de agregado grueso.

En el caso de las fibras de vidrio, su mezclado es diferente al de las fibras de acero, por ejemplo cuando se trata de capas delgadas, las fibras en madeja se alimentan dentro de una pistola de aire comprimido que las corta y se las rocía con la lechada de cemento. Lo que se denomina colocación por proyección. La fibra de vidrio debe ser resistente al ataque del álcali del cemento.

### **Propiedades del hormigón en estado fresco**

En el hormigón en estado fresco, con la incorporación de fibras, la trabajabilidad disminuye entre un 20% y un 1%, con respecto al hormigón patrón, dependiendo de la cantidad y tipo de fibra adicionada.

### ***¿Cómo trabajan las fibras sintéticas en el concreto a edad temprana?***

Los cambios de volúmenes del hormigón a edad temprana causan la formación de planos de debilitamiento y fisuras debido a las tensiones existentes que exceden a la resistencia del hormigón en un momento específico. El crecimiento de estas fisuras por contracción se previene mediante el bloqueo mecánico de las fibras sintéticas. El sistema de soporte interno de las fibras sintéticas impide la formación de grietas por asentamiento plástico. La distribución uniforme de grandes capilares causados por el movimiento del agua exudación hacia la superficie. Las fibras sintéticas reducen la permeabilidad mediante la combinación de reducción de fisuras plásticas y la disminución de la capilaridad por la exudación.

### **Propiedades del hormigón en estado endurecido**

En el estudio del hormigón en estado endurecido nos vamos a encargar de resaltar tanto sus ventajas como sus desventajas con respecto al hormigón sin fibras.

#### Las principales ventajas son:

- Aumenta la resistencia mecánica, especialmente la tracción y con fibras de acero, ya que las tensiones que dañan al hormigón son absorbidas por las fibras. Por esta razón, este hormigón es ideal para pavimentos en zonas frías, losas de techos ubicadas en zonas nevadas, estructuras con cargas dinámicas, guitados, entre otras.
- Aumenta el modulo de rotura a flexión.
- Reduce de la fisuración.
- Disminuye la permeabilidad, esto evita que el agua penetre en el hormigón y produzca los efectos adversos ya conocidos.
- Logra mayor ductilidad.
- Aumenta la resistencia a la fatiga, por lo que este hormigón es ideal para estructuras que soportan cargas dinámicas.
- Aumenta la durabilidad.

#### Las principales desventajas del hormigón con fibras son:

- Al colocar las fibras en el hormigón las mismas tienen una distribución desigual.



- Las fibras pueden reaccionar químicamente con el hormigón. Estas reacciones pueden ocasionar efectos no deseables en el hormigón.
- Hay que controlar que la adherencia entre la fibra y el hormigón sea la correcta, ya que si esta adherencia no es buena, las fibras no cumplirán con su función, y al fisurarse el hormigón, resbalarán y se saldrán de su lugar.

### **BIBLIOGRAFIA**

- <http://formin.galeon.com/album1591404.html>
- <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev7.pdf>
- <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev7.pdf>
- <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vRq-1U44cNcJ:www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/fibraT8.htm+hormigon+con+fibras+estado+fresco&cd=5&hl=es&ct=clnk&gl=a>
- A.M. Neville Y J.J. Brooks, “Tecnología del Concreto”. Editorial Trilla. Año 1998
- “Concrete Manual”- Denver Colorado, EEUU. Año 1975
- Manuel Fernández Canova. “Hormigones”. Editorial Rgerte, Madrid. 1991.
- Annual Book of ASTM Standards. 2000

## **HORMIGÓN CON POLÍMEROS**

### **Introducción**

Previamente a definir y exponer las características del hormigón con polímeros, se procede a dar un breve concepto de los **polímeros**, para entender mejor las características de este hormigón especial. Los polímeros son cadenas de monómeros (moléculas de pequeña masa), que según su estructura química cuenta con diferentes propiedades y particularidades. Los polímeros pueden ser termoplásticos o termoestables. Los primeros cuentan con cadenas largas, lineales y paralelas que no se unen transversalmente y presentan propiedades evidentes ante cambios de temperatura. Los termoestables tienen cadenas orientadas al azar que si se enlazan transversalmente y no muestran variación ante los cambios de temperatura. Estos materiales son químicamente inertes pero presentan el inconveniente de tener un módulo de Elasticidad bajo y un flujo plástico alto, además tienden a degradarse con el sol, agentes químicos, microorganismos, etc. Los materiales más usados son las formulaciones epóxicas, resinas acrílicas, poliéster, poliuretanos, etc.

Se usan para producir tres tipos de compuestos:

- Hormigón impregnado con polímero.
- Hormigón de cemento portland polímero.
- Hormigón Polímero.

### **Hormigón Impregnado con Polímero**

El hormigón impregnado con polímero se “logra” secando el H° común y se lo satura con un monómero, luego por radiación gamma o por métodos térmicos se produce la polimerización. Esto se hace generando radicales libres.

Estos hormigones tienen resistencia a tracción, a compresión e impacto mayores, los módulos de elasticidad más altos, menor flujo plástico y contracción por secado. Tiene mayor resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo, y al ataque químico, esto se debe a que la porosidad y permeabilidad de estos hormigones son más bajas.

Presentan el problema de que su coeficiente de conductividad térmica es más elevado y que



las propiedades se deterioran una vez que ha sido expuesto al fuego.

Este tipo de Hormigones resulta de muy alto costo, aunque puede impregnarse parcialmente algunos miembros de la estructura.

Resumiendo, consiste en un hormigón de cemento portland ya fraguado, que posteriormente es impregnado con un monómero que polimeriza en sitio.



Lc

Los agentes Químicos y productos corrosivos tanto ácidos como básicos aunque en último término dependerá de la estructura química del polímero utilizado en la formulación y de las características estructurales conseguidas en el compuesto.

Una de las características poco conocidas de los hormigones con polímeros es su comportamiento en el tiempo. Ello es debido en parte a que las aplicaciones son relativamente recientes y en parte a que es muy difícil reproducir en el laboratorio unas condiciones que reflejen de una manera acelerada el comportamiento en el tiempo.

### **Aplicaciones**

- Tableros de puentes
- Tuberías
- Presas
- Estructuras expuestas a condiciones agresivas

### **Ventajas**

- Resistencia a compresión superior a 100 MPa.
- Buena relación RT/RC.
- Buena o excelente resistencia química.
- Endurecimiento no superior de 1 a 3 días.
- Amplio campo de aplicación.
- Posibilidad de materiales "hechos a medida".

### **Desventajas**

- Costo elevado.
- Baja resistencia frente al calor.
- Contracción / dilatación térmica importante.
- Falta de investigación en la relación componentes -estructura- propiedades.
- Problemas de envejecimiento y comportamiento en el tiempo.

### **Hormigón de Cemento Portland Polímero**

Se agrega al Hormigón fresco un polímero en forma de solución acuosa o un monómero que es polimerizado in situ. Se usan con un agente anti espumante para que no quede demasiado aire atrapado. Tiene mayor durabilidad y adhesión que los hormigones comunes. Tienen



resistencias alta a la congelación y deshielo y a la abrasión y al impacto. El flujo plástico es mayor que en el hormigón común.

Se usa para cubiertas para puentes, tableros, reparaciones. En resumen, consiste en un hormigón compuesto por cemento portland y agregados, combinados en el momento del mezclado con polímeros orgánicos dispersos en agua.



#### Aplicaciones

- Tableros de puentes
- Pavimentos de garaje
- Suelos industriales
- Reparación
- Elementos prefabricados.

### Hormigón polímero

El hormigón polímero es un hormigón sintético resultante de la mezcla de áridos o gravas, resinas químicas y otros agentes químicos que convierten el hormigón polímero en un producto de una gran resistencia y poco peso, de gran uso en la industria de los prefabricados. Su precio suele ser un más alto debido al uso de las resinas.

El hormigón polímero también se conoce como hormigón resina o PC (Polymer concrete), debe su nombre porque en vez de cemento Pórtland se usa un polímero, además en su mezcla intervienen agregados (áridos, gravas, polvos de silicona, cuarzo, granito, cristales, generalmente cualquier material seco, sólido y no absorbente se puede utilizar como agente llenador) y productos químicos como acelerantes, retardantes, pigmentos, catalizadores etc, en ocasiones según el uso final incluyen diferentes fibras como refuerzo. Los principales problemas surgen por las propiedades viscoelásticas del polímero, lo que significa un módulo de elasticidad no demasiado alto. Presencia de fluencia y susceptibilidad a la temperatura. También se puede decir que puede verse afectado adversamente por la exposición a condiciones continuas de humedad. La fabricación de estos materiales necesita de plantas muy equipadas, razón por la cual nunca será posible fabricar hormigón polímero in situ para una obra en concreto. Por ejemplo fabricar un suelo directamente.

En otro orden de cosas los materiales poliméricos y sus compuestos de hormigón a altas temperaturas como se ha señalado combustionan fácilmente y arden. Este efecto se puede paliar utilizando aditivos ignífugos retardadores de llama o sustancias autoextinguibles.





En resumen, es un material compuesto en el que los agregados se encuentran dentro de una matriz cementante de polímero.



### Propiedades:

- Alta estabilidad dimensional. En condiciones normales y expuestos a la acción de líquidos
- Rapidez en el endurecimiento
- Alta rigidez estática y dinámica
- Facilidad de fabricación en formas complicadas sin necesidad de mecanizado
- Buenas propiedades mecánicas
- Muy elevada resistencia a la tracción / compresión
- Muy buena adherencia
- Capacidad de poder diseñarse materiales “a medida”
- Coste razonable
- Es posible preparar piezas de espesores inferiores a 20mm, no teniendo que estar las piezas más de 30 minutos en los moldes. En 12 minutos se suele adquirir el 50% de la resistencia, a las 3 horas el 90% y el 100% a las 24 horas.
- Aunque la densidad del hormigón polímero es parecida a la del hormigón normal, los productos obtenidos son mucho más ligeros debido a sus menores espesores, lo que supone un menor coste de transporte y menor peso
- Buena absorción de vibraciones
- Gran resistencia al impacto

### Aplicaciones

- Reparaciones
- Recubrimientos (Protección)
- Elementos prefabricados
- Sanitarios (Edif., OP)
- Elementos de drenaje (Obra Pública)
- Paneles
- Baldosas, peldaños, etc.

Comparación entre un hormigón de cemento y uno de polímero

Propiedad	Hormigón de cemento	Hormigón polímero
Peso volumétrico [ $\text{Kg/m}^3$ ]	2200 – 2400	1500 – 2400
Resistencia a compresión [ $\text{Kg/m}^2$ ]	51 - 611	509 – 1528
Resistencia a flexión [ $\text{Kg/m}^2$ ]	11.3 – 73.4	152.8 – 560.4
Resistencia a tracción [ $\text{Kg/m}^2$ ]	6.1 – 42.8	50.9 – 254.7



Modulo de elasticidad [ $\times 10^6$ Kg/m <sup>3</sup> ]	0.05 – 0.4	0.10 – 0.45
Absorción de agua [% en peso]	4 - 10	0.3 - 1
Flamabilidad (1 hora de exposicion)	16	30 - 45

Finalmente podemos decir que tres son las propiedades principales que direccionan en gran medida el campo de aplicación de los mismos. Estas son:

- buena relacione resistencia/peso
- buen comportamiento frente a agentes agresivos
- buena adherencia.

El mayor costo de los hormigones con polímeros frente al hormigón convencional, su elevada termodependencia y el escaso conocimiento de su comportamiento en el tiempo condicionan su utilización.

### **Paginas Web de interés.**

<http://www.e-asfalto.com.ar/modificados/modificados.htm>

<http://www.slideshare.net/instructorcific407/durabilidad-del-hormign>

<http://www.aislusal.es>

## **HORMIGÓN CON AGREGADO RECICLADOS**

### **Introducción**

La enorme densidad de población junto con el importante desarrollo económico que ha registrado en los últimos años el sector de la construcción, trajo como efecto negativo para el medio ambiente, un aumento significativo y continuo en la generación de residuos y explotación de canteras. Es por esto, y motivado por la necesidad de proteger el medio ambiente, que en los últimos años se ha extendido a casi todos los países la idea de reciclado y reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD). Este fenómeno, sin embargo, no es nuevo, ya en tiempos de posguerra los países europeos se encontraron con una gigantesca acumulación de escombros y el reaprovechamiento de los mismos para ser utilizados como materiales de construcción obtuvo muy buenos resultados.

### **Reciclado de agregados para hormigón**

Bajo la denominación de residuos de construcción y demolición se incluye una variada serie de materiales, entre los que se encuentran productos cerámicos, residuos de hormigón, material asfáltico y en menor medida otros componentes como madera, vidrio y plásticos. Centraremos el análisis en los residuos de hormigón.

El proceso de reciclado de estos comprende tanto la etapa de demolición como el reciclado propiamente dicho. En cuanto a la demolición, si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición selectiva que por un lado reduzcan in situ los escombros a tamaños que puedan ser tratados por el triturador primario de la planta de reciclaje, y por otro disminuyan la presencia de impurezas.

Con respecto al reciclado propiamente dicho, para llevarlo a cabo se siguen distintos pasos dependiendo del tipo de residuo con el que tratemos, si es hormigón armado el primer paso es separar el hierro y triturar el material. El segundo paso sería triturar el material resultante hasta obtener la graduación deseada de agregado, si es necesario es cribado para



obtener una granulometría inferior y el rechazo es de nuevo machacado para volver o proceder a su cribado.

### **Principales ventajas:**

Facilita a los productores y poseedores de residuos inertes el cumplimiento de sus responsabilidades de eliminación.

- Reduce el impacto ambiental al evitar la proliferación de espacios para el depósito de desechos y la explotación de canteras.

### **Principales desventajas**

- Posible presencia de materia orgánica o elementos perjudiciales que contaminan el material a reciclar.
- Si los materiales están contaminados se elevan los costos para descontaminarlos.
- Los áridos reciclados procedentes de hormigón presentan una gran heterogeneidad en sus propiedades, debida principalmente a las distintas características de los hormigones originales.

### **Hormigón con agregados reciclados**

- Se lo define como al hormigón que contiene agregados gruesos reciclados procedentes de la trituración de residuos de hormigón.

Dosificación: El hormigón con áridos reciclados puede obtenerse con los mismos métodos de dosificación que son empleados habitualmente en la obtención de hormigón convencional.

Contenido de agua: Debido a la mayor absorción de los agregados que presentan por el mortero original adherido, se necesita mayor cantidad de agua para obtener la misma consistencia que al hormigón convencional.

Contenido y tipo de cemento: Para la selección del tipo de cemento se utilizan los mismos criterios que los que se emplean en un hormigón convencional para las mismas prestaciones. Debido a la menor calidad del árido que proviene de RCD, se necesita en general y remplazando el 100% del agregado natural por el agregado reciclado, una menor relación agua/cemento para la obtención de una misma resistencia, en comparación con un hormigón convencional.

Por otro lado, debido a la mayor demanda de agua del hormigón con áridos reciclados, el contenido de cemento necesario es algo mayor para mantener la relación agua/cemento.

### **Propiedades del hormigón en estado fresco**

Consistencia: Se necesita en general mayor contenido de agua para obtener la misma consistencia en relación a un hormigón convencional, esto se debe a que el árido reciclado presenta una elevada absorción, textura más rugosa y formas menos redondeadas,

Densidad: Si se compara este tipo de hormigón con el convencional, se determina mediante ensayos que la densidad disminuye, ya que es menor la densidad del árido reciclado respecto al natural.

### **Propiedades particulares en estado endurecido**



Resistencia a la compresión: Sustituciones de hasta 30% del árido convencional por árido reciclado, en general no alteran de forma significativa la resistencia a la compresión del nuevo hormigón. Cuando se sustituye el 100% del árido grueso, la resistencia a compresión puede disminuir entre un 10 y un 20%.

Normativa: La utilización de este tipo de hormigón en nuestro país es conflictiva para el proyectista, debido a que no tiene normativa que lo ampare.

### **Bibliografía**

- José Domínguez, Víctor Villanueva y Emilio Martínez, “Hormigón con agregados reciclados” Argentina 2007
- I.E. Martínez Soto y C.J. Mendoza Escobedo.”Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados”.
- [www.estrucplan.com.ar](http://www.estrucplan.com.ar)
- [www.ecologiaverde.com/reciclaje-de-hormigon](http://www.ecologiaverde.com/reciclaje-de-hormigon)
- [www.canalconstruccion.com/hormigon-reciclado.html](http://www.canalconstruccion.com/hormigon-reciclado.html)
- [www.cpic.org.ar/pdf/boletin401/14-19\\_nota.pdf](http://www.cpic.org.ar/pdf/boletin401/14-19_nota.pdf)

## **HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (HAC)**

### **Definición:**

Es un hormigón que tiene la propiedad en estado fresco de deformarse por peso propio, llenando todos los sectores del encofrado sin necesidad de compactación interna ni externa. La mezcla debe ser capaz de sortear obstáculos sin que exista segregación de sus materiales componentes. Además, presenta una excelente terminación superficial. (Okamura, 1997) lo define como el hormigón que es capaz de fluir en el interior del encofrado, rellenándolo de forma natural, pasando entre las barras de armadura y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso.

### **¿Cuándo es conveniente utilizarlo?**

Se trata de un material que presenta enormes ventajas comparativas respecto de los hormigones convencionales en lo que hace a mano de obra, tiempos de ejecución, terminación superficial y mejoramiento de las condiciones laborales. Este Hormigón (Autocompactante) nace como respuesta a uno de los posibles problemas de la manipulación de hormigones convencionales, que es la compactación insuficiente que como consecuencia genera una reducción drástica de las prestaciones estructurales, independientemente de la calidad de la producción y de la propia composición del material. Como resultado, con frecuencia pueden verse en la superficie del hormigón zonas de compactación incompleta, exigiendo posteriormente trabajos de reparación, que pueden resultar costosos o de difícil ejecución.

### **Características de los Materiales Componentes**

#### **Materiales utilizados**

##### **Cementos:**

A efecto de las propiedades reológicas del hormigón, es apto cualquier tipo de cemento que cumpla con las normativas vigentes. Suelen ser CP-40, o de mayor resistencia.



### **Agregados:**

El mayor contenido de finos, que permite garantizar las propiedades autocompactantes, genera en ocasiones la necesidad de adicionar fíller.

### **Aditivos:**

Se hace imprescindible el uso de un aditivo superfluidificante de última generación y pueden necesitarse aditivos moduladores de la viscosidad.

### **Forma de Mezclado, Colocación y Transporte:**

Respecto al mezclado, debido a la utilización de polímeros orgánicos, es decir, polímero celulósico como aditivo cuya función es reducir la fricción de la mezcla, facilita enormemente el mezclado con las clásicas máquinas que se utilizan en la elaboración de hormigones convencionales. Por ende se deben tener los mismos cuidados que ante un hormigón convencional.

En cuanto a la colocación, es mucho más sencilla en comparación que un hormigón convencional debido a su propiedad de autocompactante, propiedad que analizaremos más adelante.

Los cuidados en este ítem no son propios de la técnica de colocación, sino que las precauciones a tener se centran en los encofrados: no puede utilizarse encofrados de baja calidad.

Esto último responde a dos cuestiones:

- Las características fluidificantes del material se traducirían en escurrimientos a través de grietas y defectos del encofrado.
- No se estaría aprovechando las ventajas referentes al excelente nivel de terminación, ya que quedarían impresos los defectos del encofrado.

Referente al Transporte, también se deben tener los mismos cuidados que ante un Hormigón Convencional.

### **Propiedades Particulares en Estado Fresco**

- Elevada Fluidéz, debido a la utilización de aditivos superfluidificantes (polímeros celulósicos), proporcionando la habilidad o facilidad de fluir en el encofrado y de rellenarlo.
- Alta Compactabilidad, el material se acomoda con elevada facilidad en las distintas zonas del encofrado, llenando los espacios vacíos que se generan al fluir el pastón a través de las armaduras que compondrán las diversas estructuras. Esto elimina el uso de vibradores en la colocación, con las ventajas que esto significa: los ruidos generados por los equipos de compactación, ya sean vibradores de aguja, vibradores acoplados al encofrado o mesas vibratorias, resultan incómodos y perjudiciales para los trabajadores y las personas que ocupan los espacios circundantes.
- Viscosidad y Cohesión media o Moderada, pues por un lado los aditivos superfluidificantes disminuyen la fricción intergranular, pero los agregados (finos y gruesos) la aumentan por otro. Este nivel de viscosidad (medio) evita la segregación



de sus componentes garantizando una deformabilidad uniforme en el proceso de colocación.

- Menor Tiempo de Colocación, ahorrando un 70% al momento de verter el material.

### **Propiedades Particulares en Estado Endurecido**

- Densidad Interfaz árido-pasta más Elevada, en comparación a un hormigón convencional con la misma relación agua/cemento.
- Menor Permeabilidad a Cloruros y Gases, esto está ligado al bajo nivel de microfisuras y mayor densidad microestructural.
- Mayor Durabilidad, derivada de las dos características anteriores.
- Mejor Adherencia, entre el hormigón y barras de armadura.
- Módulo de Deformación más Bajo, que un hormigón convencional de la misma resistencia.
- Mejor Acabado de Superficies.
- Resistencia Mayor, es decir por encima a la de Hormigones Convencionales.

### **Bibliografía:**

[1] Estado del Arte del Hormigón Autocompactable.

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3358/4/36022-4.pdf>

[2] Hormigón Autocompactante (HAC).

<http://www.taringa.net/posts/info/1123694/Hormig%C3%B3n-Autocompactante-%28HAC%29.html>

[3] Hormigón Autocompactante, Primera Presentación en Argentina.

(LOMA NEGRA en proyecto conjunto con la empresa de hormigón elaborado LOMAX).

<http://www.construirnoa.com.ar/images/uploads/hormigon-autocompactante.pdf>

[4] CEMEX TE DA

[http://www.hormigonespecial.com/normas\\_y\\_ehe\\_08.php](http://www.hormigonespecial.com/normas_y_ehe_08.php)

[5] 1º Video (presentación Power Point)

[http://www.youtube.com/watch?v=rppFX8K7T\\_U](http://www.youtube.com/watch?v=rppFX8K7T_U)

[6] 2º Video (presentación Power Point)

<http://www.youtube.com/watch?v=vKxRjVpDT9o>

## **HORMIGÓN COLOREADO**

### **Introducción**

La técnica de colorear hormigones se desarrolló después de la Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, se aplicó en prefabricados y hacia los años 80, comenzó a usarse directamente en obra.

Dos son las formas de conseguir superficies de hormigón visto coloreadas: pintando la superficie endurecida o mediante la incorporación de agentes colorantes (pigmentos) a la mezcla en estado fresco, que extienden el color a toda la masa del hormigón; éstos pasan a formar parte de los finos de la mezcla, de los cuales dependerá el color de la superficie. Nos ocuparemos de la segunda alternativa.



El objetivo de la coloración de hormigón es exclusivamente arquitectónico y estético y presenta ciertas ventajas sobre otros tipos de terminaciones que se pueden realizar, como el uso de piedras, azulejos, pinturas, etc.

### **Ventajas**

- Bajo costo de mantenimiento durante la vida útil, en comparación con los gastos que implica aplicar y mantener capas de desgaste, recubrimientos o acabados pintados.
- Alta durabilidad de los colores, ya que los pigmentos son químicamente estables y no cambiarán significativamente su tono bajo exposiciones ambientales normales.
- Buena alternativa económica a los materiales costosos de construcción, tales como la piedra o el azulejo.
- Beneficios estéticos, cuando se consideran texturas, agregados expuestos, revestimientos arquitectónicos y otros acabados decorativos.
- Color siempre visible, Debido a que los pigmentos se mezclan en el hormigón, el color afecta toda la masa del mismo, lo cual significa que el color permanecerá visible aun en las esquinas martelinadas, en las superficies fracturadas, expuestas o rugosas y en los cortes con sierra o cuando se sopletea con arena.

### **Elementos que afectan al hormigón coloreado**

#### **Pigmentos**

*Los pigmentos son finas partículas de polvo, químicamente inertes, insolubles y que dotan de color al material al cual se añaden.*

Los usados para colorear el hormigón deben ser insolubles, tanto en el agua como en los agregados, ser inertes químicamente con respecto al cemento, a los agregados y a los aditivos; resistentes a la intemperie, estables a la luz y a temperaturas extremas y deben quedar firmemente embebidos, con los finos del cemento cuando endurezca.

#### **Normativa**

En algunos países, el uso del hormigón coloreado ha exigido la regulación de la calidad y composición de los pigmentos, así como también, la forma de incorporación a la mezcla. Dentro de esta normativa destacan:

- *BS 1014 (1975) “ Specification for pigments for Portland cement and Portland cement products ” (Inglaterra).*
- *ASTM C 979 82 86 “ Standard Specification for Pigments for integrally colored concrete ” (Estados Unidos).*
- *DIN 53 237 “ Testing of pigments; pigments for colouration of building materials based on cement or lime ” (Alemania).*
- *GUÍA ACI 212, destinada al empleo de aditivos en el hormigón.*



## Composición química

*De acuerdo a su composición química, los pigmentos presentan una amplia variedad de colores, los cuales provienen de óxidos de hierro y cromo. A continuación se muestra una tabla con los colores y su respectiva composición química:*

Color	Fórmula química	Denominación	Nombre común
Rojo	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Óxido ferroso	Hematita
Negro	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Óxido férrico	Magnetita
Amarillo	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$		Linonita
Amarillo	$\text{FeOOH}$	Hidróxido ferroso	Goetita
Marrón	$\text{FeCO}_3$		Siderita
Marrón negro	$\text{FeS}$		Pirita
Café	$\text{FeOOH} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ y/o $\text{Fe}_2\text{O}_3$		Lepidocroquita
Verde	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Óxido de cromo	
Azul	$\text{CoAl}_2\text{O}_4$	Aluminato de cobalto	
Azul	$\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$	Aluminato de cobalto	
Blanco	$\text{TiO}_2$	Dióxido de titanio	

En la tabla se aprecia que, a excepción de los colores en cuya composición intervienen el cromo y cobalto, en la composición química de los pigmentos intervienen componentes similares a los presentes en la composición de los cementos. Esto da las primeras directrices en cuanto a que la composición química de los pigmentos no debería afectar las propiedades del hormigón.

## Clases

Existen dos clases de pigmento, los obtenidos de manera natural de yacimientos minerales y los obtenidos por manufactura sintética a través de procesos estandarizados (pigmentos sintéticos).

Los **pigmentos naturales** son tierras coloreadas de manera natural por óxidos o hidróxidos metálicos (principalmente hierro). Los más conocidos son los ocre.

Los únicos pigmentos naturales válidos son los derivados de óxidos de metales. Únicamente los minerales puros garantizan no afectar la resistencia. Aquellos componentes que en su formulación entra algún hidroxilado, ácido de oxígeno, como puede ser el humus, azúcares, alcoholes o almidones, quedan terminantemente excluidos de usarse como colorantes en el hormigón (generalmente vienen mezclados con arcillas, cuarzos y otras impurezas. Son de un tamaño de partícula relativamente grande, de tonalidades opacas, de baja viveza, de bajo rendimiento o poder de coloración y de color variable)

Los **pigmentos sintéticos** son principalmente óxidos de hierro, cromo, cobalto y titanio. Si bien estos pigmentos tienen el mismo origen mineralógico que los naturales, al ser obtenidos por procesos controlados y estandarizados, tienen la ventaja de otorgar alta pureza (no





contienen ningún tipo de carga), elevado brillo y alto poder de coloración (debido a su pequeño tamaño de partícula). Estos pigmentos son estables a la intemperie (a la luz UV, al ácido carbónico, a cambios fuertes en la humedad y la temperatura, etc.), a los ácidos, a los álcalis y a los componentes del cemento.

### **Características físicas**

Las principales características físicas que se deben controlar en los pigmentos en polvo son las de tamaño y forma de la partícula, y absorción de agua.

Los aditivos de color se pulverizan en partículas microscópicas de alrededor de una décima de diámetro de un grano de cemento portland. Su tamaño pequeño los ayuda a adherirse al cemento e incrementan su resistencia de matriz.

Los óxidos minerales naturales y sintéticos se muelen con la siguiente finura:

Óxido mineral : 100% molido bajo tamiz 0,080 mm.

Óxido sintético: 100% molido bajo tamiz 0,045 mm.

Esto corresponde a una granulometría comprendida entre 0,01 y 10  $\mu$ .

La variación en el tamaño de una partícula afecta más directamente a la capacidad del pigmento para difractar la luz, que lo que influye en la absorción de ésta. Una menor absorción de luz (mayor reflejo) da tonalidades blancas.

La absorción de agua es un índice que expresa la cantidad de agua fijada por 100 gramos de pigmento. La siguiente tabla muestra la absorción de agua para varios pigmentos según su color:

Color del pigmento	Absorción de agua (%)
Rojo	22 - 34
Negro	21 - 33
Amarillo	26 - 80
Café	29 - 38
Verde	13 - 18
Blanco	13 - 16

En general, la adición de agua no tiene mayor relevancia considerando que el porcentaje de pigmentación no supera el 10%. Esto no incluye al óxido de hierro amarillo, donde la demanda de agua adicional se puede incrementar hasta un 20%, lo que produce un gran asentamiento del cono de Abrams. Por otra parte, los óxidos de hierro negro plastifican las mezclas produciendo aumentos de cono de 3 a 5 cm.

### **Estabilidad**

Los óxidos en general son los compuestos más estables que existen; de allí la permanencia de los óxidos de hierro y el óxido de cromo a lo largo del tiempo y de los cambios de condiciones.



Las mediciones experimentales revelan pequeños cambios de color, los que se atribuyen al efecto combinado del cemento y de los depósitos ambientales propios de una zona abierta, a la formación de eflorescencias y a cambios estructurales superficiales. Sin embargo, se aprecia que el lavado recupera en alta medida la coloración original.

No hay que perder de vista el hecho de que cada pigmento tiene un comportamiento distinto según sus características particulares y las de los otros componentes de la mezcla, así como también la interacción que se produzca entre ellos.

### **Poder de teñidura**

El poder de teñidura de los pigmentos es una característica de calidad importante que es esencial en la evaluación de su relación entre su coste y sus beneficios. El poder de teñidura es definido como la *capacidad de un pigmento de pasar su color natural para un medio que está siendo coloreado*.

### **Cemento**

El cemento gris no sólo da la apariencia de suciedad, si no que retira el brillo de cualquier color sea donde sea. Así, el hormigón manufacturado con el cemento Pórtland normal nunca va a producir colores tan brillantes como las hechas con cemento blanco. Sin embargo, la claridad de los colores obtenidos con el cemento blanco depende de cuáles pigmentos son utilizados. A continuación se muestra en la primera fila de la figura los colores alcanzados con cemento blanco y en la segunda los alcanzados con cemento gris.



Debido a que el color del cemento varía incluso entre lotes de un mismo fabricante, esa variación afecta también el color del hormigón, por lo que *se recomienda usar cemento del mismo fabricante y lote para toda la obra*.

### **Áridos**

El árido grueso produce en el mezclador un efecto dispersante mucho más intenso sobre el pigmento, que otro grano fino. Las aglomeraciones livianas de pigmento, que pueden producirse, por ejemplo, durante el transporte, se destruyen muy fácilmente por el grano grueso del árido. Si por el contrario, sólo hay arena muy fina, no queda más alternativa que intensificar mucho el mezclado.

El *color de la arena y del agregado grueso* es especialmente importante en los acabados del agregado expuesto o sectores de mampostería de hormigón de caras fracturadas, ya que estos componentes llegan a estar expuestos en la superficie del hormigón.

### **Relación agua/cemento**



La relación agua/cemento es determinante en la trabajabilidad del hormigón y en la apariencia de la superficie. Esta última puede presentar irregularidades o poros que le dan un color pálido a la superficie cuando existe exceso de agua.

La relación agua/cemento, influye en el tono, brillo e intensidad de coloración aumentando la luminosidad conforme lo hace la cantidad de agua.

### **Porcentaje de Colorantes**

El pigmento se agrega en un porcentaje del peso seco del cemento. Mientras mayor es la cantidad de pigmento que se agregue a la mezcla, mayor es la intensidad del color del hormigón. No todos los pigmentos permiten una coloración uniforme (depende de la pureza y calidad del pigmento, que es lo que determina su poder de coloración y rendimiento).

En todos los casos va a existir un punto de saturación, que va a variar también según la calidad del pigmento. Este punto se encuentra dentro de un rango de 5 a 8% en base al peso seco del cemento. Se recomienda una dosificación entre un 2 y 6%.

**IMPORTANTE:** Diversos estudios han comprobado la influencia negativa que tienen los pigmentos en la resistencia de los hormigones al agregarse en un porcentaje mayor a un 10%.

### **Tipo de Molde empleado**

La forma, tipo y material del moldaje tiene repercusión en el color. Como regla general, *cuanta más agua absorbe el molde, más oscuro es el tono del hormigón*. Cuando los materiales absorben agua de la cara del hormigón, le reducen el contenido de agua a la capa superficial de éste y aumenta el contenido relativo de cemento, produciéndose superficies más densas y tonos más profundos. *Por lo tanto, deben utilizarse moldajes no absorbentes* (acero, plásticos reforzados con fibra de vidrio o contrachapado tratado)

*Los moldajes impermeables proveen al hormigón de un beneficioso curado inicial.*

Por otra parte, resulta importante *mantener uniforme el tiempo de desmoldado*, a lo largo de toda la obra para evitar variaciones de color.

### **Desmoldante**

*Las sustancias empleadas para lubricar la interfase molde-piel del hormigón y facilitar la separación del molde luego del fraguado*, pueden manchar el hormigón haciendo variar su color.

Usar *láminas plásticas o papeles de curado*, también pueden causar decoloración y manchado.

*Se ha desarrollado compuestos de curado de color, especiales para usar en hormigón coloreado.*

### **Vibrado y Aire**

Durante la mezcla de los componentes del hormigón fresco se incorpora aire. En la colocación es necesario eliminar al máximo esas burbujas de aire. Esto se hace mediante compresión y/o vibración.



*La incorporación de aire, al igual que el aire que no se libera en el proceso de vibrado, provocan que la superficie quede rugosa, con hormigueos, y eso afecta el color.*

### **Fraguado**

La temperatura de fraguado tiene una incidencia doble sobre la coloración del hormigón pigmentado. En primer lugar, *la estabilidad térmica de los pigmentos es, en parte, limitada*. Si el fraguado del hormigón se realiza en autoclave a 200 °C, se está ya en la zona de peligro. Caso aparte son algunos pigmentos que son termoestables.

Por otra parte, *Durante el fraguado se producen cristales de tamaños variados, de acuerdo con la temperatura en qué se haya producido el mismo. El tamaño de estos cristales es responsable por la manera en que la luz es esparcida.*

*Las dimensiones que pueden tomar las diferencias de coloración debidas a la temperatura de fraguado son bastante considerables.*

## **FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN AL HORMIGÓN COLOREADO**

### **Eflorescencias**

En el hormigón gris, el depósito blanco producido por la eflorescencia frecuentemente pasa sin notarse. Pero en el hormigón con colores oscuros, el depósito puede tener el efecto de aclarar el color de la superficie o decolorarla.

### **Erosión**

A medida que la pasta de cemento se erosiona o se desgasta, la arena y el agregado se hacen visibles en la superficie y pueden influir en el color total del hormigón.

Si el hormigón va a estar sujeto a aguas corrientes, arena soplada por el viento, tránsito vehicular pesado u otras condiciones que puedan causar un desgaste acelerado y no uniforme, se debe evaluar la variación posible en la apariencia del hormigón por la intemperie así como el color del mismo al diseñar y construir la obra respectiva.

### **Algunos consejos..**

Para obtener un color uniforme es recomendable *usar las mismas materias primas, proporciones de mezcla y métodos de producción en toda la obra*

Para la retención óptima de color, se debe considerar *la aplicación de un repelente al agua o un sellador a la superficie del hormigón*. Éste reduce el potencial del hormigón para ensuciarse o mancharse, y hace más fácil su limpieza. Además, ayuda a reducir las eflorescencias.

Sin embargo con o sin repelentes al agua o selladores, el hormigón coloreado proporcionará años de servicio y buena apariencia. Si se desea, *un fregado ocasional con un detergente suave seguido de un enjuague completo y cuidadoso con agua limpia, es todo lo que se requiere para mantener limpio el hormigón y darle su mejor apariencia.*

### **BIBLIOGRAFÍA**

[http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/HugBar\\_AleAna\\_SamGut.pdf](http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/HugBar_AleAna_SamGut.pdf)



<http://www.efn.uncor.edu/dep/estruct/ciath/doshocol.pdf>

[http://www.ich.cl/docs/presentaciones/texto\\_lutz\\_kohnert\\_2\\_esp.pdf](http://www.ich.cl/docs/presentaciones/texto_lutz_kohnert_2_esp.pdf)

<http://www.grupominetti.com/admin/items/R3CemCol.pdf>

## **HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLOS (HCR)**

### **Introducción**

El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) es probablemente el más importante desarrollo en la tecnología de presas en los últimos años, ganando aceptación alrededor del mundo en un tiempo relativamente corto debido a su bajo costo, el cual es derivado en parte por su rápido modo de construcción. El método de HCR se desarrolló no sólo a partir del esfuerzo de algunos diseñadores de presas de hormigón, sino también del trabajo de ingenieros geotécnicos, quienes tradicionalmente han diseñado terraplenes de tierra y enrocado.

El hormigón Compactado con Rodillo, se suele usar también en la construcción de pavimentos y áreas de almacenamiento. La rapidez de la puesta en obra, el relativo bajo contenido de cemento y la utilización de adiciones minerales (cenizas volátiles, filler calizo, residuos mineros, etc.), explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción.

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.

### **Concepto**

El hormigón Compactado con Rodillo se define como "Una mezcla de hormigón de consistencia seca o semiseca, de asentamiento nulo, que se coloca de forma continua y su compactación se realiza con un rodillo normalmente vibrante".

### **Utilización**

El HCR difiere del hormigón convencional principalmente en su consistencia requerida. Para la consolidación efectiva, la mezcla de hormigón debe ser lo suficientemente seca para prevenir el hundimiento de los equipos de rodillo vibratorio, pero lo suficientemente húmeda para permitir la adecuada distribución del mortero conglomerante en el hormigón durante el mezclado y la operación de la compactación vibratoria.

Actualmente, las **presas** de Hormigón Compactado con Rodillo han sido diseñadas y construidas en muchos países en todas partes del mundo. El interés por este tipo de presas se ha incrementado, debido a la creciente aceptación de su empleo como hormigón masivo en la construcción de presas, a la velocidad de construcción, a su bajo contenido de cemento y su condición de asentamiento nulo. Así también, un avance reciente es el empleo cada vez mayor del HCR como material durable de **pavimentación** que soporta cargas pesadas.

### **Características particulares**

La mezcla de HCR es un verdadero hormigón cuya resistencia y otras propiedades siguen la relación agua-cemento establecida por Abrams en 1918.



Es decir, suponiendo agregados resistentes y limpios, la resistencia del hormigón completamente consolidado es inversamente proporcional a la proporción agua-cemento. Usando menos agua con una constante cantidad de cemento se produce un hormigón con mayor resistencia a la compresión y propiedades relacionadas.

A modo de resumen se podría decir que la mezcla debe reunir dos importantes condiciones:

- consistencia adecuada para soportar el equipo de compactación y para poder ser compactada,
- cantidad de agua adecuada para hidratar en un 100% el cemento Pórtland.

## **Materiales componentes**

**Materiales aglomerante:** El tipo y la cantidad de cemento Portland o cemento más puzolana, requerido en las mezclas de HCR dependen del volumen de la estructura, las propiedades requeridas por ésta y las condiciones de exposición. Además, la mayoría de presas de HCR son suficientemente grandes para requerir consideraciones del calor de hidratación del material cementante. Por lo tanto, en general, se utilizan cementos de BCH con adiciones, como ser las puzolanas (aproximadamente un 40%).

## **Puzolanas**

El uso de puzolana en la mezcla HCR puede servir como reemplazo parcial del cemento para reducir la generación del calor, reducir costos y como una adición para aumentar la cantidad de finos y mejorar la trabajabilidad al dosificar mezclas para volúmenes mínimos de pasta.

Una de las principales funciones de la puzolana o cualquier otro material fino apropiado es la de ocupar espacio que de otra forma sería ocupado por el cemento o el agua. Ocupar este espacio con agua, obviamente dará como resultado una reducción en la resistencia del hormigón.

## **Agregados**

La calidad requerida de los agregados depende de las propiedades deseadas del HCR, principalmente su resistencia. Para un HCR de alta resistencia, es necesario un agregado de alta calidad. Para el HCR que no es sometido a esfuerzos o no está expuesto a condiciones de congelamiento y deshielo mientras está húmedo, pueden ser usados agregados de baja calidad.

## **Agua**

El agua utilizada en mezclas de HCR debe estar libre de cantidad excesivas de álcalis, ácidos o material orgánico que pueden inhibir la adecuada ganancia de resistencia. En si, debe cumplimentar lo expuesto en la norma IRAM 1601. La mayoría de las mezclas de HCR requiere de 90 a 120 Kg de agua por m<sup>3</sup> para agregados de tamaño máximo mayor que 2 pulg. (50mm).

## **Aditivos**

Los aditivos han sido efectivos en mezclas de HCR que contienen suficiente agua para proveer una pasta más fluida, llegando a no ser utilizados en hormigones pobres de pasta. Los **aditivos reductores de agua** y los **retardadores** son los más usados. Los aditivos incorporadores de aire también son utilizados, pero no usualmente, debido a la dificultad en generar las burbujas de aire del tamaño apropiado y la distribución de éstas cuando la mezcla tiene una consistencia de asentamiento cero.



### **Producción y transporte de la mezcla de HCR**

La producción de la mezcla para HCR se lleva a cabo en plantas dosificadoras, las cuales deben ubicarse tan cerca como sea posible del lugar donde se construye la obra, 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 las 100 ton/hrs y 250 ton/hrs; 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 aspas de mezclado, a los efectos de retirar el hormigón adherido.

La mezcla puede transportarse al lugar de su colocación utilizando camiones volcadores y/o camiones mezcladores.

### **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 constituido 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 hormigón.

### **Compactación**

El HCR se compacta en una sola capa, para lo cual se emplean los mismos equipos que se utilizan en la compactación mezclas asfálticas, ellos son:

- rodillo liso vibrante
- rodillo neumático

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.

### **Curado**

Se realiza inmediatamente después de terminada la compactación, con el objetivo de evitar las pérdidas de humedad y asegurar la temperatura adecuada para asegurar las reacciones que conducen al fraguado (hidratación del cemento). Se aconseja emplear emulsión asfáltica aniónica o 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.

### **Consideraciones Económicas – Conclusiones**

Las ventajas que presenta el HCR se pueden resumir en:

- La económica que presenta el H. C. R. ya que tiene menor tenor (contenido) de cemento para iguales resistencia que el Ho 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 Ho tradicional, se logra mediante una mayor cantidad de agua, siendo que precisamente la relación A/C (agua/cemento) es determinante en relación a la 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.
- 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 Ho se requieren camiones con “mixers”, 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 normal, la retracción por pérdida de agua es menor.
- 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 HCR 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).

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).