

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT)**

**SEMINARIO DE GRADUACION  
HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO**

**“CONTROL DE CALIDAD EN OBRA PARA  
HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO”**

**TESINA DE GRADUACION**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presentada por:

**NAPOLEON GARNICA ENDERICA  
JORGE ENRIQUE SANCHEZ ZAMORA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2009**

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



• Ing. Gastón Proaño  
DELEGADO DECANO FICT



Ing. José Camposano L.  
DIRECTOR DEL SEMINARIO



Ing. Jorge Flores  
DIRECTOR DE TESINA

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta  
Tesina de Graduación, nos corresponden  
exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la  
misma a la ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Jorge Sánchez Zamora



Napoleón Garnica Endérica

## RESUMEN

Uno de los mayores desafíos para la tecnología del hormigón es incrementar la vida útil en servicio de las estructuras de hormigón armado. El desarrollo tecnológico, experimentación y análisis basado en la observación, permitió aumentar el espectro de utilización y aplicación de los hormigones especiales a lo que ahora se denomina Hormigones de Alto Desempeño, HAD.

Diversas causas pueden conducir al deterioro, muchas veces acelerado de las estructuras de hormigón armado, encontrándose una relación directa con las condiciones imperantes de carácter local: el estado de la estructura, materiales, normas técnicas y los procedimientos de control, entre las principales. En los HAD estos fenómenos se presentan con mayor intensidad y los efectos en las estructuras serán evidentes. Es normal interpretar entonces la vida útil de una estructura como una función que depende de su durabilidad.

Es una preocupación válida la inconsistencia entre los reportes de laboratorio para los ensayos del hormigón y las manifestaciones reales en numerosas aplicaciones, en las cuales se ha producido un deterioro más acelerado que el estimado.

La realización de un proyecto tiene básicamente dos componentes principales, la etapa del diseño y la etapa de construcción. Cada una aporta con márgenes de error que se reflejarán finalmente en la Obra. Algunos investigadores consideran que es en la fase de construcción en donde es factible que se cometan más errores cuyos efectos sobre la estructura serán de mayor impacto, esto es debido al ambiente no controlado que se tiene en el campo. Es precisamente por este punto que se hace notoria la necesidad de seguir y aplicar concientemente todas las especificaciones, regulaciones y sistemas de calidad para controlar todas las fases que intervienen durante la ejecución del proyecto.

Los HAD tienen, para cada tipo, rigurosos puntos de control que exigen ser monitoreados y confirmados dadas las características especiales que cada uno de ellos presentará cuando la estructura entre finalmente en servicio. La decisión de utilizar un HAD para una estructura específica tiene como una de sus premisas de diseño la durabilidad del hormigón, y es justamente esta propiedad la que será afectada cuando la ejecución del proyecto no tenga como prioridad el cumplimiento eficiente del control de calidad del trabajo contratado.

# INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES .....	4
1.1. Definición de HAD.....	4
1.2. Factores limitantes.....	12
CAPITULO 2	
2. CONTROLES DE CALIDAD FASE DE VACIADO.....	13
2.1. Hormigón compactado con rodillo/pavimentadora.....	14
2.1.1 Características.....	14
2.1.2 Controles previos al vaciado.....	18
2.1.3 Controles durante el vaciado.....	19

2.2.	Hormigón Fast Track.....	22
2.2.1	Características.....	22
2.2.2	Controles previos al vaciado.....	23
2.2.3	Controles durante el vaciado.....	24
2.3	Hormigón Auto-Compactante (HAC).....	27
2.3.1	Características.....	27
2.3.2	Controles previos al vaciado.....	31
2.3.3	Controles durante el vaciado.....	33
2.4	Hormigón de Alta Resistencia.....	38
2.4.1	Características.....	38
2.4.2	Controles previos al vaciado.....	42
2.4.3	Controles durante el vaciado.....	43
2.5	Hormigón de Alta Resistencia Inicial (HARI).....	43
2.5.1	Características.....	43
2.5.2	Controles previos al vaciado.....	47
2.5.3	Controles durante el vaciado.....	48

### CAPITULO 3

3.	CONTROLES DE CALIDAD FASE ENDURECIMIENTO.....	49
3.1	Hormigón Compactado com Rodillo/Pavimentadora.....	50
3.2	Hormigón Fast Track.....	54

3.3 Hormigón Auto-Compactante (HAC).....	56
3.4 Hormigón de Alta Resistencia.....	58

#### CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
4.1 Conclusiones.....	60
4.2 Recomendaciones.....	62

#### BIBLIOGRAFÍA

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1	Uso de Pavimentadora para compactación del HCP y Rodillos Vibratorios para Segunda Etapa.....19
Figura 2.2	Limpieza con aire a presión de la Superficie del Hormigón.....24
Figura 2.3	Compactación con regla y el texturado con arpillera Húmeda.....25
Figura 2.4	Aplicación de membrana química de curado mediante equipos portátiles (mochila) .....27
Figura 2.5	Vertido de un Hormigón Autocompactante.....28
Figura 2.6	Caja L.....35
Figura 2.7	Uso del cono de Abrams en prueba de Flujo libre .....36
Figura 2.8	Prueba de Extendido (Slump Test).....36
Figura 2.9	Muestra Estable.....37
Figura 2.10	Muestra Inestable.....37
Figura 2.11	Vertido de una Viga con HAC.....37
Figura 2.12	Construcción de un puente de Hormigón.....42
Figura 2.13	Viaducto en España.....46
Figura 2.14	Hormigón lanzado (shotcrete) .....46
Figura 3.1	Acabado superficial del HCR.....53
Figura 3.2	Fisura superficial.....53
Figura 3.3	Desgaste superficial.....53
Figura 3.4	Loza inundada para membrana.....54
Figura 3.5	Curado con membrana.....54
Figura 3.6	Curado de columnas, usando plástico.....59

## INTRODUCCION

El desarrollo tecnológico y la experiencia continua sobre las propiedades de los hormigones especiales, sobretodo en aquellos con mejores características mecánicas, de alta resistencia y durabilidad, permitió el inicio de una nueva etapa en el conocimiento del comportamiento entre el cemento, sus agregados y adiciones, a lo que actualmente se denomina Hormigones de Alto Desempeño, HAD.

Por lo general, en las obras en las que se utiliza hormigón y por lo tanto cemento Portland existen fisuras, las que aparecen ya sea al cabo de años, después de algunas semanas o inclusive transcurridas apenas unas horas de vida de la estructura. La observación de estos fenómenos ha permitido obtener algunos principios, entender sus mecanismos, plantear problemas y proponer soluciones o por lo menos intentar minimizarlos. En los HAD estos fenómenos se presentan con mayor intensidad y los efectos en las estructuras serán evidentes.

Los avances logrados en el laboratorio no tuvieron el mismo efecto correspondiente en los resultados cuando se analizaban sus aplicaciones reales. En algunos casos, por ejemplo, la alta resistencia no ha sido acompañada por el incremento de la durabilidad que experimentalmente se obtenía a partir de la alta compacidad de estos hormigones. Otros casos

implican el deterioro prematuro de las estructuras. Estas variaciones se atribuyeron posteriormente, en su gran mayoría, a las diferencias existentes entre las condiciones de elaboración y curado del hormigón en laboratorio y las condiciones reales de obra.

En este escenario se evidencia la necesidad de disponer de un eficiente control no solo del proceso de elaboración y fabricación de hormigones HAD sino también del proceso de recepción, vaciado y endurecimiento, con lo cual se pueda garantizar que las estructuras una vez puestas en servicio alcanzarán las características y especificaciones del diseño, sean estas de resistencia, durabilidad o compacidad.

## **OBJETIVOS**

Evaluar y establecer las actividades y precauciones a tomar durante el proceso de recepción, colocación y post vaciado de un hormigón de alto desempeño en obra con el fin de detectar los posibles factores que alteran la calidad del producto final una vez puesto en servicio.

Prevenir a los constructores y fiscalizadores sobre la necesidad de cumplir con los estándares establecidos por las Normas y Reglamentos de construcción para conseguir estructuras con menos defectos y por consiguiente más confiables.

Identificar algunos de los controles de calidad más significativos en detectar posibles fallas en el hormigón fresco con suficiente anticipación, de tal manera que permita analizar y adoptar posibles soluciones para evitar el rechazo de la mezcla.

# CAPITULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Definición de HAD

Según el Taller sobre Hormigones de Alto Desempeño (HAD) realizado en 1990 por el NIST (*The National Institute of Standards and Technology*), el ACI (*American Concrete Institute*) y otras instituciones, se lo define como *“el hormigón que, teniendo las propiedades y uniformidad deseadas, no puede ser obtenido por métodos de mezclado, colocación y curado tradicionales”*. [1]

En el medio hispano existe la falsa afirmación que un hormigón de alto desempeño es solo aquel que posee la característica de alta resistencia y mejorada durabilidad, sin embargo la definición de hormigones de alto desempeño es mucho más amplia y alcanza a

gran variedad de hormigones, pudiendo ser un HAD aquel hormigón optimizado en su costo y trabajabilidad, que cumple con los requerimientos de resistencia y durabilidad.

Durante la década pasada a decir de destacados investigadores, la tecnología del hormigón alcanzó su punto más alto de desarrollo, esto debido principalmente a:

- El desarrollo de tecnologías especiales, las cuales no hubieran sido posibles de lograr sin el desarrollo alcanzado por la industria química de aditivos.
- El desarrollo de modelos matemáticos con aproximaciones coherentes, racionales y científicamente fundadas para caracterizar las propiedades del hormigón.

Existen muchas definiciones de hormigón de alto desempeño, por lo cual no existe una definición universalmente aceptada; muchas instituciones reconocidas internacionalmente han definido a los HAD cada cual con diferentes criterios de evaluación.

**a) Definición del Instituto Americano del Concreto (ACI):  
(Russell 1999).**

*“Un hormigón de alto desempeño es el que reúne una combinación especial de requerimientos de desempeño y*

*uniformidad que no siempre pueden ser logrados usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticas de curado ordinarias”.*

Un hormigón de alto desempeño es un hormigón en el cual ciertas características son desarrolladas para una aplicación y medioambiente particular.

Ejemplos de estas características que pueden ser consideradas críticas para una aplicación son:

- Facilidad de colocación
- Compactación sin segregación.
- Propiedades mecánicas a largo plazo
- Resistencia iniciales
- Permeabilidad
- Densidad
- Calor de hidratación
- Dureza
- Estabilidad volumétrica.
- Gran periodo de vida de servicio en un medioambiente severo.

Dado que muchas de las características de un hormigón de alto desempeño son interrelacionadas, un cambio en una sola usualmente resulta en cambios en una o más de otras características. Consecuentemente, si muchas características tienen que ser tomadas en cuenta en la producción de hormigón para una aplicación, cada una de estas características debe ser claramente especificada.

**b) Definición del Departamento federal de administración de carreteras de los Estados Unidos: (FHWA 1998)**

*“Un hormigón de alto desempeño es diseñado para ser más durable y si es necesario mas resistente que un hormigón convencional. Los hormigones de alto desempeño están compuestos de esencialmente los mismos materiales que un hormigón convencional, pero las proporciones son diseñadas para proveer la resistencia y durabilidad necesaria para los requerimientos estructurales y medioambientales del proyecto.”*

**c) Definición del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras: (SHRP, Zia, 1991).**

*C1. Un hormigón de alto desempeño debe cumplir con una de las siguientes características:*

- 1. Resistencia a la compresión a los 28 días mayor o igual a 70 MPa (10 000 psi), o*
- 2. Resistencia a la compresión a las 4 horas mayor o igual a 20 MPa (3 000 psi), o*
- 3. Resistencia a la compresión a las 24 horas mayor o igual a 35 MPa (5 000 psi)*

*C2. Un hormigón de alto desempeño debe tener un factor de durabilidad mayor que 80% después de 300 ciclos de congelamiento y deshielo.*

*C3. Un hormigón de alto desempeño debe tener una relación agua/materiales cementicios menor o igual que 0.35.*

**d) Definición de la Universidad de Tokyo (1990):**

*“Un hormigón de alto desempeño debe cumplir con las siguientes características:*

- 1. Habilidad para llenar los encofrados con poco o sin esfuerzo externo de compactación.*
- 2. Una mezcla cohesiva con baja segregación*

3. *Fisuración mínima a edades tempranas causadas por la contracción o las deformaciones térmicas.*

4. *Suficiente resistencia a largo plazo y baja permeabilidad.”*

**e) Definición del Instituto de Hormigón Pretensado (PCI Committee on Durability, 1994)**

*“Un hormigón de alto desempeño es un hormigón con o sin microsílíce que tiene una relación agua/cemento de 0.38 o menos, resistencia a la compresión igual o mayor a 55.2 MPa (8000 psi) y permeabilidad (medida por AASHTO T-259 o T-277) 50% más baja que la de un hormigón convencional.”*

**f) Definición de la Fundación de investigación en Ingeniería Civil: Civil Engineering Research Foundation (CERF Technical Report 1994)**

*“Al contrario de un hormigón convencional, un hormigón de alto desempeño debe tener uno o más de estos requisitos:*

1. *Fácil colocación y compactación.*
2. *Alta resistencia inicial*
3. *Exhibir propiedades mecánicas a largo plazo superiores, resistencia a la abrasión o cargas de impacto, y baja permeabilidad.*

4. *Exhibir estabilidad volumétrica y así menos deformaciones y menos fisuras.*
5. *Mayor periodo de resistencia a ataques químicos, ciclos de congelamiento y deshielo o altas temperaturas.*
6. *Demostrar durabilidad mejorada”*

g) **Definiciones propuestas por diferentes investigadores:**

**Definición del Dr. Adam Neville (Reino Unido):**

*“Sus características especiales son tales que sus componentes y proporciones son específicamente escogidas para tener las propiedades particularmente apropiadas para el uso esperado de la estructura; estas propiedades son usualmente una alta resistencia o baja permeabilidad”.*

**Definición del Ing. C. H. Goodspeed (Estados Unidos):**

*“Puede llamarse hormigón de alto desempeño (HPC) a cualquier hormigón que satisface ciertos criterios propuestos que superan las limitaciones de hormigones convencionales, estos pueden incluir hormigones con mejorada resistencia a la acción del medio ambiente (durables) o un incremento de la capacidad estructural mientras mantienen una adecuada durabilidad. Pueden también incluirse hormigones que reducen significativamente el tiempo de construcción sin compromiso*

*de un largo periodo de servicio. Por consiguiente no es posible dar una única definición de HPC sin considerar los requerimientos de desempeño dados por las condiciones de uso del concreto.”*

**Definición de los ingenieros Ryan y Potter (Australia):**

*“Un hormigón de alto desempeño es el que reúne múltiples criterios de desempeño los cuales son significativamente más estrictos que los requeridos para hormigones convencionales.”*

**Definición del Ing. Swamy (Reino Unido):**

*“Un hormigón de alto desempeño tal como es diseñado para dar características optimizadas de desempeño para condiciones dadas de cargas, uso y condiciones de exposición, consistentes con los requerimientos de costo, ciclo de vida, y durabilidad. Un hormigón de alto desempeño no necesariamente implica el uso de materiales costosos o procesos tecnológicos complejos sino que estos están condicionados por los requerimientos estructurales, de uso y de medioambiente.”*

## 1.2 Factores limitantes

Existen algunos factores que resultan limitantes en la determinación del máximo contenido de cemento en una mezcla de hormigón.

La resistencia puede dejar de aumentar si se adiciona cemento pasado el límite óptimo, también depende de la eficiencia de los agentes dispersantes para evitar la floculación de partículas finas.

Para trabajabilidad, un alto contenido de cemento incrementará la cohesión a niveles difíciles de manejar, con pérdida creciente de la trabajabilidad.

También hay que considerar factores de origen térmico, en los HAD se utilizan mayores cantidades de cemento, produciéndose un aumento de temperatura en el interior del hormigón. Una forma posible de reducir el calor de hidratación y ganar resistencia y economía, es reemplazar parte del cemento por adiciones activas de minerales puzolánicos.

Los contenidos de cemento menores son deseables para manejar con mayor facilidad las dificultades en obra: pérdida de consistencia o tiempo de fraguado.

## **CAPITULO 2**

### **2. CONTROLES DE CALIDAD FASE DE VACIADO**

Es necesario restringir el alcance de este trabajo en cuanto a qué control de calidad se hace referencia. Se ha tomado como premisa que el hormigón de alto desempeño requerido para una obra específica ya ha sido diseñado con todos los estudios previos que dicho diseño implica, esto es, análisis y definición del tipo de cemento a usar, análisis de los agregados, cantidad de agua, dosificación y determinación de otros materiales cementicios y adiciones químicas. En función de esto, se revisarán las diferentes circunstancias con las cuales un hormigón bien diseñado y con excelentes resultados de laboratorio podría no necesariamente presentar los mismos buenos resultados esperados al momento de ser colocado en su posición final y/o puesto en servicio.

## **2.1 Hormigón Compactado con Rodillo/Pavimentadora**

### **2.1.1 Características**

Durante muchos años el Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) fue usado como sub-base de firmes carreteras y pavimentos en aeropuertos. Desde finales de la década de los cuarenta fue utilizado en el Reino Unido bajo el nombre de hormigón pobre como una base de 150mm a 250mm de espesores bajo superficies bituminosas.

El éxito del hormigón compactado en estos usos ha sido atribuido a una serie de factores; principalmente a que es un material sencillo de producir y colocar. Las dosificaciones para trabajos de pavimentación requieren normalmente un bajo contenido de cemento y conllevan al empleo de áridos de buena calidad como los usados en el hormigón convencional. El contenido de agua es escogido de tal forma que se produzca un hormigón de asiento no medible por los métodos tradicionales, que le permita ser compactado con rodillo.

La búsqueda de un hormigón con baja fisuración junto con la necesidad de establecer mezclas y sistemas de ejecución más económicas, condicionaron de manera determinante las

dosificaciones empleadas con esta nueva técnica, que sumadas al bajo contenido de cemento y agua por necesidades de colocación de ser compactado con rodillos, en conjunto se lo llegó a denominar como Hormigón Compactado con Rodillo.

Uno de los inconvenientes de los HCR es su sensibilidad a las variaciones de humedad frente a la compactación obtenida. Un exceso o defecto de agua, así como una densidad insuficiente, lleva a disminuir notablemente las resistencias mecánicas, así como a una regularidad superficial defectuosa. Por otra parte, una falta de humedad lleva consigo los riesgos de segregación en la superficie del hormigón.

El cambio de volumen potencial debido a la pérdida de humedad o retracción de secado, es significativamente bajo en el HCR debido a su menor contenido en agua de amasado en comparación con un hormigón convencional. La superficie está sujeta a la desecación, como sucede en todos los hormigones, pero hay también menos pasta en superficie y el mayor volumen de árido restringe más el cambio de volumen. El principal efecto de la desecación superficial sería la microfisuración de la pasta alrededor de las partículas del árido. La retracción de secado resulta también afectada por la relación agua/cemento.

La permeabilidad de una masa de hormigón depende en gran medida del aire atrapado en el sistema de huecos. Como la cantidad de pasta es suficiente para minimizar el sistema de huecos, y el grado de compactación, consolida completamente la masa, el HCR es tanto o más impermeable que el hormigón convencional.

La resistencia a la erosión de los HCR se mejora con el uso de áridos de tamaño más pequeño y texturas superficiales suaves.

Se entiende por tiempo de puesta en obra de los HCR a su facultad de conservar durante un periodo de tiempo su aptitud para la compactación. A medida que se desarrolla el fraguado del material, el hormigón compactado pierde progresivamente su trabajabilidad.

El agua libre se combina con el conglomerante perdiendo su papel de lubricante; mientras que los enlaces conglomerante-árido que empiezan a desarrollarse rigidizan de forma paulatina el material. El tiempo de puesta en obra es el intervalo contado a partir de la mezcla de los componentes, durante el cual al no haber comenzado o ser muy débil el fraguado del conglomerante, se puede proceder al extendido y compactación del material. Ese tiempo está condicionado por la composición

del conglomerante y por la temperatura, definiéndose el llamado Factor de Madurez como el producto de la temperatura por el tiempo. Si estas operaciones se realizan cuando el fraguado ya ha iniciado, no solo se dificultan las mismas, sino que además las resistencias del material pueden verse seriamente perjudicadas al destruirse el enlace entre los áridos.

Se podrían resumir las características principales de los hormigones HCR / HCP en las siguientes:

- Hormigón seco colocado con equipo de movimiento de suelo/asfalto y compactado con rodillo vibratorio;
- Hormigón con bajo contenido de cemento;
- Su correcto desempeño se basa en una eficiente compactación.

Los usos más comunes para los hormigones HCR / HCP son:

- En estructuras viales;
- Estructuras masivas tipo presas;
- Obras hidráulicas;
- Muros de contención;
- Se lo puede utilizar como base para pavimentos;
- Parqueaderos, bodegas, etc.

### **2.1.2 Controles previos al vaciado**

Para los acopios y manipulación de áridos deberán tomarse las precauciones necesarias para impedir segregaciones, degradaciones, contaminaciones o mezclas de materiales de diferentes tamaños. Es recomendable proteger los áridos con toldos.

Si se va a colocar sobre una base esta debe estar correctamente compactada y limpia. Si se la coloca sobre una carpeta asfáltica esta debe estar limpia y reconformada.

El transporte se lo realiza en camiones volquetas, preferible con tolvas intermedias para evitar la segregación, y protección con lonas en el caso de condiciones climáticas adversas.

El extendido del material puede realizarse mediante motoniveladora o con máquina para pavimento asfáltico.

El hormigón compactado se ejecutará cuando las condiciones ambientales permitan esperar que no se produzcan heladas durante su período de endurecimiento. En caso de lluvia, deberán suspenderse las operaciones.

El orden del uso del equipo es el siguiente:

- Rodillo vibrante sin vibración para no estropear la calidad de la regularidad superficial;
- Rodillo con vibración, 10 toneladas de peso estático;
- Compactador neumático.



**FIGURA 2.1 USO DE PAVIMENTADORA PARA COMPACTACIÓN DEL HCP Y RODILLOS VIBRATORIOS PARA SEGUNDA ETAPA.**

### **2.1.3 Controles durante el vaciado**

Compactación. Se referirá este control al procedimiento y número de pasadas aprobados en el tramo de prueba. Se utilizarán, siempre que sea posible, equipos gráficos de registro continuo instalados en los compactadores, para controlar su velocidad de avance, la frecuencia de la vibración, el tiempo de trabajo y la distancia recorrida.

Densidad. Se efectuará una medición en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de una medida por cada 100 metros cuadrados de superficie de capa, recomendándose el empleo de sondas nucleares.

Humedad. Se efectuarán medidas en emplazamientos aleatorios, en correspondencia con las efectuadas en el control de fabricación. Las zonas donde manifiestamente se hubiera producido un incidente se corregirán debidamente. Si se produjeran desviaciones muy frecuentes, superiores a las tolerables, a juicio del Director de las obras, se reforzará el control al día siguiente.

Espesores. Cada diez metros de extendido deberá realizarse, sobre el material sin compactar, un control de espesor mediante hincas de un clavo con escala, teniendo en cuenta la disminución que sufrirá el material al compactarse.

Tiempo de manejabilidad. Deberá controlarse la temperatura en el extendido y, según los ensayos previos, dosificar el retardador. Cuando así lo indique el Director de las obras, se procederá al control del tiempo de manejabilidad del hormigón seco, por el método de la medida del tiempo de propagación del sonido u otro método aprobado por aquél.

Control de la resistencia durante el vaciado mediante cilindros de (15x30) cm o (10x20) cm curados en obra y en laboratorio a 28, 56 y 90 días; para obtener datos mas reales para fines de desencofrado o puesta de carga en la obra.

Para los hormigones HCR y HCP es importante realizar las pruebas de densidad cada 150m para estar seguro de una óptima compactación que es una de las características fundamentales de estos hormigones.

Pruebas de control de temperatura del hormigón y del ambiente; velocidad del viento y humedad ambiental, para prevenir las fisuras superficiales en el hormigón cuando inicie el fraguado.

La ejecución de las juntas se aserrará a distancias entre 10 y 15 metros y hasta una profundidad aproximada de junta a los 2/3 del espesor del hormigón. El curado se hará mediante pulverización fina de agua que no produzca encharcamiento. Si debe abrirse al tráfico inmediatamente se debe dar un tratamiento que consista en riego con emulsión asfáltica.

## **2.2 Hormigón Fast Track**

### **2.2.1 Características**

Es un hormigón inicialmente desarrollado en EE.UU., debido a la necesidad de mantener habilitado el tránsito de las principales avenidas rutas y autopistas. Se han desarrollado técnicas de trabajo que permitan la reparación y/o decapado de un pavimento en un tiempo mínimo.

Para la utilización de estos hormigones se requiere de una adecuada programación de tareas para no interrumpir completamente el tránsito.

Este hormigón requiere de altas resistencias iniciales de tal manera que minimice los tiempos de curado, aserrado, sellado y habilitación. Las condiciones climáticas son fundamentales para estudiar una dosificación que cumpla con estos requerimientos.

Los asentamientos (en el cono de Abrams) que se emplean son los típicos para los equipos disponibles, y puede citarse un entorno entre 8 y 12 cm.

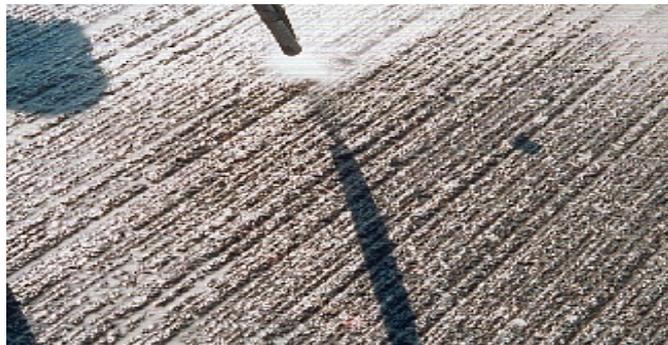
Típicamente, son hormigones de buena resistencia, con contenidos unitarios de cemento relativamente elevados (360-

450 Kg./m<sup>3</sup>). El tipo de cemento que se puede utilizar es el cemento Pórtland normal, cemento Pórtland compuesto y cemento de alta resistencia inicial, con relación agua/cemento baja, inferior a 0.42.

En el caso de requerirse habilitación temprana, es conveniente apelar a incrementos en la madurez y no provocar aumentos excesivos en el contenido de cemento para no inducir excesivas contracciones que pudieran afectar la adherencia.

### **2.2.2 Controles previos al vaciado**

La remoción de la capa superior de pavimento asfáltico puede hacerse por diferentes medios, pero debe tenerse en cuenta la necesidad de proveer una superficie rugosa para contribuir a la adherencia. La experiencia ha demostrado que la textura proporcionada por el fresado, sin otro tratamiento que una limpieza de la superficie, permite obtener adecuada adherencia en la interfase. Mediante soplado de aire a presión se eliminan partículas sueltas sobre la superficie fresada.



**FIGURA 2.2 LIMPIEZA CON AIRE A PRESIÓN DE LA SUPERFICIE DEL HORMIGÓN**

Luego del fresado, el espesor del pavimento asfáltico subyacente debe ser mayor que 7,5 cm, para que sea factible el diseño que contemple la adherencia. En caso contrario, debe prescindirse de la misma y diseñar un recubrimiento no adherido con mayores espesores.

### **2.2.3 Controles durante el vaciado**

La colocación y compactación del hormigón se puede hacer con los métodos convencionales, empleando reglas vibratoras y vibradores de inmersión para la compactación de bordes, donde la acción de la regla no es eficiente.



**FIGURA 2.3. COMPACTACIÓN CON REGLA Y EL TEXTURADO CON ARPILLERA HÚMEDA**

El texturado superficial puede hacerse sin dificultad con yute, porque los hormigones son dóciles. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la pérdida del efecto de los aditivos superfluidificantes en la coordinación de las tareas, ya que una vez que el hormigón se rigidiza, es difícil obtener texturas adecuadas o incluso, una compactación eficiente.

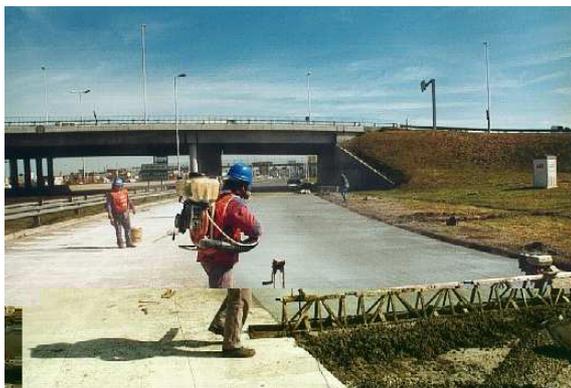
La evolución rápida de estos hormigones y la necesidad de evitar que se desarrollen tensiones tangenciales fuertes que alteren la adherencia, impone la necesidad de ser muy estrictos en lo que respecta al aserrado. Debe hacerse tan pronto como sea posible sin dañar los bordes aserrados y es conveniente contar con más de un equipo porque la dimensión de las losas

pequeñas conduce a una mayor longitud de aserrado por unidad de superficie.

El curado debe ser eficiente y estar aplicado inmediatamente después del texturado, para reducir la posibilidad de fisuras de origen plástico, por lo que son recomendables las membranas químicas aptas para ser empleadas sobre la superficie todavía húmeda del hormigón.

Si la amplitud térmica es importante o el hormigonado corresponde a condiciones de tiempo frío, es imprescindible la utilización de mantas aislantes para reducir las variaciones térmicas del hormigón. Estas mantas, simultáneamente contribuyen a incrementar la madurez del hormigón, posibilitando una evolución rápida de la resistencia y la habilitación temprana.

El momento de retiro de las mantas debe programarse de forma tal de reducir los gradientes iniciales, por lo que se recomiendan las horas de máxima temperatura o de mayor asoleamiento de la superficie del pavimento, si se tratase de época invernal. En clima cálido, las membranas térmicas aislantes pueden ser contraproducentes.



**FIGURA 2.4. APLICACIÓN DE MEMBRANA QUÍMICA DE CURADO MEDIANTE EQUIPOS PORTÁTILES (MOCHILA)**

## **2.3 Hormigón Auto-compactante (HAC)**

### **2.3.1 Características**

La cohesión y manejabilidad de las mezclas del concreto son características que contribuyen a facilitar el manejo previo y durante su colocación en los encofrados. Consecuentemente son aspectos del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el hormigón, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

El aspecto sobresaliente de este hormigón es su capacidad de deformarse por acción de su propio peso, habilidad que puede denominarse como “autocompactabilidad” para fluir luego de su descarga, llenando todos los sectores del encofrado sin

necesidad de vibración interna ni externa y con capacidad para sortear obstáculos sin dificultad, con el fin de obtener una estructura sin defectos y de calidad uniforme.



**FIGURA 2.5 VERTIDO DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.**

La capacidad de llenado requiere un equilibrio entre dos aspectos importantes: la capacidad de deformación en términos de la distancia que puede fluir desde el punto de descarga; y, velocidad de deformación en términos de la velocidad con que fluye la mezcla. Este equilibrio estará ligado además al tipo de estructura a llenar en términos de cantidad de armadura, dimensiones y tortuosidad del elemento.

En aquellos casos que el HAC requiere pasar a través de pequeñas aberturas en el encofrado o a través de una gran congestión de armaduras, es necesario que exista una compatibilidad entre el tamaño del agregado grueso y el espacio libre entre armaduras y dimensión de las aberturas.

Es de especial cuidado la pérdida de revenimiento (aumento de rigidez) que experimenta el hormigón desde que sale de la mezcladora hasta que termina colada y compactada en la estructura. La evolución de esta pérdida gradual puede ser alterada por varios factores extrínsecos como: la presencia del sol y del viento, la manera de transportar el hormigón desde la mezcladora hasta el lugar de colado. Factores intrínsecos de ese cambio son: consistencia inicial de la mezcla, humedad de los agregados, uso de ciertos aditivos y contenido unitario de cemento.

Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez debido a la evaporación del exceso de agua que contienen. El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir la consistencia inicial como efecto por su capacidad de absorber agua de la mezcla.

Para fines constructivos se considera que el tiempo medido desde que se mezcla el concreto hasta que adquiere su fraguado inicial, es el lapso disponible para realizar todas las operaciones inherentes al colado hasta dejar el hormigón colocado y compactado dentro del espacio encofrado. De esta manera, este lapso de tiempo debería ser amplio pero no tanto como para que el hormigón permanezca demasiado tiempo sin fraguar.

Entre los factores externos que en mayor proporción intervienen en la duración del tiempo de fraguado está la temperatura en función del tipo de cemento, contenido y su finura.

Se podrían resumir las características principales del hormigón auto-compactante en las siguientes:

- No requiere energía adicional para su colocación y compactación a mas de su peso propio;
- Es capaz de acomodarse y moldearse sin que exista segregación de los materiales componentes;
- Tiene mayor durabilidad que los hormigones tradicionales con la misma relación a/c.
- Optimización de los recursos de personal y equipos para su colocación con la posibilidad de reducción de los costos;

- Reducción de los tiempos constructivos;
- Incremento de la calidad y confiabilidad en las estructuras;

Los usos más comunes para los hormigones auto-compactantes son:

- En estructuras complejas o con alta densidad de armadura en los cuales se dificulta la compactación;
- Para elementos prefabricados (disminución de ruido y buenos acabados de las piezas).

### **2.3.2 Controles previos al vaciado**

El Hormigón Auto Compactante no requiere de instalaciones especiales en la obra. Se aplican los mismos moldes, equipos de transporte y las mismas alturas de vaciado.

En la obra, debe formularse un plan de hormigonado considerando la alta fluidez del Hormigón Autocompactable, tomando en cuenta las secciones y formas, el orden de colocación, la cantidad de hormigón por unidad de tiempo, el tiempo de espera entre capas continuas y los demás aspectos relacionados.

El hormigón auto-compactante puede aplicarse tanto por bombeo como por vertido directo desde el mixer, en estructuras horizontales o verticales.

Debido a su fluidez puede ser difícil su puesta en obra a menos que se lo limite con la utilización de encofrado. Este debe encontrarse en buenas condiciones de estanqueidad para así prevenir las pérdidas de lechada.

Para encofrados con alturas superiores a los 3.00m es necesario tomar en consideración las presiones hidrostáticas completas, puede ser posible que se requiera modificar el diseño del encofrado.

El llenado del encofrado se realiza por simple gravedad, sean cuales sean las formas, dimensiones o densidad de armaduras. El HAC escurre fácilmente varios metros y llena completamente los moldes prácticamente sin ayuda. Un método de colocación altamente eficaz es la inyección del Hormigón Autocompactable a través de puntos en la zona inferior de los encofrados.

El concreto fluido tiende a endurecer más rápido debido a la muy poca o mínima agua de exudación, por lo que se deben

tomar medidas necesarias para conseguir un adecuado acabado superficial.

Debido al alto contenido en finos, este hormigón presenta una mayor tendencia a la contracción, y por ende a la fisuración, que los hormigones con mezclas convencionales, por lo cual es necesario poner mayor cuidado al proceso de curado temprano en estos elementos.

Una mezcla de hormigón puede ser clasificado como autocompactante si cumple con las siguientes características:

- Capacidad de relleno
- Capacidad de paso
- Resistencia a la segregación

### **2.3.3 Controles durante el vaciado**

Control de la resistencia durante el vaciado mediante cilindros de (15x30) cm o (10x20) cm. Curados en obra y en laboratorio a 28, 56 y 90 días; para obtener datos mas reales para fines de desencofrado o puesta de carga en la obra.

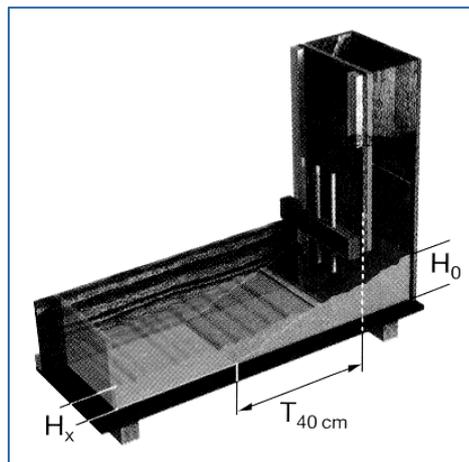
Pruebas de control de temperatura del hormigón y del ambiente; velocidad del viento y humedad ambiental, que nos ayudarán a controlar la fisuración superficial por desecamiento.

Para medir la fluidez de hormigones convencionales se ha utilizado desde hace ya varios años tanto en terreno como en laboratorio el Cono de Abrams, sin embargo para asentamientos superiores a los 18 cm. dicho equipo deja de ser aplicable. Esta razón ha determinado el uso de algunos equipos alternativos, que difieren unos de otros sólo por los objetivos que se plantean en sus fundamentos de ejecución. [7]

### **CAJA L**

La caja de la figura (modelo europeo) es llenada sin compactación, cuidando de que la superficie deberá estar nivelada y el elemento vertical completamente lleno, de modo que se pueda verificar que no haya segregación en la superficie; luego se levanta la compuerta, de modo que el flujo sea continuo y se debe cronometrar el tiempo que requiere el hormigón para recorrer 40 cm; luego se deberá medir el tiempo transcurrido hasta llegar al final de la caja. Una vez que se

detenga el flujo, se pueden medir las diferencias de nivel del hormigón.



**FIGURA 2.6 CAJA L**

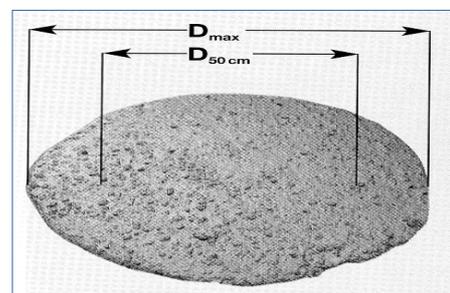
### **Prueba de Flujo Libre**

Para este ensayo se utiliza el mismo cono del ensayo de Cono de Abrams pero en sentido opuesto, es decir con el diámetro más grande como cara de llenado. El hormigón es vaciado sin compactar, hasta que la superficie quede completamente horizontal y el cono completamente lleno; luego el cono se levanta cuidadosamente de la superficie dado que el flujo de hormigón podría suspenderse si el cono se levanta muy rápidamente.



**FIGURA 2.7 USO DEL CONO DE ABRAMS EN PRUEBA DE FLUJO LIBRE**

La UCV (*Universidad Católica de Valparaíso, Chile*) toma como referencia las recomendaciones de la EFNARC (*European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete*) en lo relativo a los métodos de ensayo para los HAC. Se toma el tiempo requerido para que el hormigón alcance un diámetro de 50 cm y se mide el diámetro máximo alcanzado. [8]



**FIGURA 2.8 PRUEBA DE EXTENDIDO (SLUMP TEST)**

El Diámetro  $D_{max}$  deberá estar dentro de 65–75 cm., la fluidez deberá ser medida en: Fluidez: D 50 cm transcurridos de 3 a 6 seg. Luego verificar la homogeneidad en el borde. Verificar, especialmente si hay o no segregación de la mezcla.



**FIGURA 2.9 MUESTRA ESTABLE**



**FIGURA 2.10 MUESTRA INESTABLE**

Es necesario controlar que no existan juntas frías posibles entre las amasadas si se descuida la continuidad en el vertido.



**FIGURA 2.11 VERTIDO DE UNA VIGA CON HAC**

## **2.4 Hormigón de Alta Resistencia (HAR)**

### **2.4.1 Características**

El progreso en el campo de la tecnología del hormigón y del control de calidad, conjuntamente con los nuevos requerimientos de las estructuras, han conducido al desarrollo de hormigones de resistencias cada vez más elevadas.

En los primeros años del siglo XX el hormigón poseía una resistencia de aproximadamente 14 MPa.- En los años 30 este valor se había casi duplicado. Al comienzo de los años 50, un hormigón con resistencia a la compresión de 34 MPa., era considerado de Alta Resistencia. En la década del 60, hormigones con valores de resistencia entre 41 y 52 MPa. ya eran de uso comercial en EE.UU.- Al comienzo de los 70 se produjeron hormigones de 62 MPa.

En los últimos 10 años se observa un desarrollo notable, tanto en lo que respecta a medios de producción y dosificación como al conocimiento más detallado de las características reológicas y propiedades mecánicas del hormigón.

En los EE.UU. por ejemplo ya se comercializa hormigón con una resistencia especificada en 120 MPa. o aún mayor. En Europa numerosos puentes y otras estructuras se diseñan con hormigones de 60 MPa. y más. También en Japón se construyen estructuras con resistencias especificadas a la compresión del orden de 80 MPa. o superior.

Hay que reconocer que la definición de alta resistencia es una función de la región geográfica. En regiones donde se produce comercialmente hormigón de 60 MPa. de resistencia a la compresión, alta resistencia podría estar en el rango de 80 a 100 MPa. Sin embargo en regiones donde el tope de resistencia para los hormigones comercializados sea de 34 MPa, se podrá llamar Hormigón de Alto Desempeño a uno de 60 MPa. de resistencia a la compresión.

Entre los factores importantes que influyen en el logro de una alta resistencia en el concreto se encuentran: cementos con propiedades que permitan obtener altas resistencias en el concreto; bajas relaciones agua-cementantes; agregados fuertes, limpios, adecuadamente graduados y de tamaño apropiado. Cuando la relación agua/cemento es muy baja (menor a 0.35) se adiciona en las plantas dosificadoras un

súper-plastificante a fin de asegurar un adecuado control del agua, pudiendo repetirse la situación en ciertos tipos de obra por propósitos de colocación.

Un hormigón de alta resistencia se utiliza donde es importante reducir el peso por razones de diseño o utilizar pequeños elementos de apoyo, además cuando se usa hormigón de alta resistencia también se reduce la cantidad de material utilizado y se disminuye el costo total de la estructura.

Se podrían resumir las características principales de los hormigones de alta resistencia en las siguientes:

- La resistencia a la compresión a los 28 días debe ser  $\geq 70\text{MPa}$ ;
- Contiene áridos de alta resistencia convenientemente triturados con superficies ásperas y cuya granulometría debe ser mayor a 4mm;
- Tienen baja relación a/c, aproximadamente 0.22, para obtener una consistencia adecuada.
- Su módulo de deformación es más elevado y, por tanto, tienen un menor acortamiento debido a esfuerzos axiales.
- Aumento de la vida útil de la estructura del edificio. El incremento de la resistencia característica del concreto en

combinación con buenos materiales cementicios puede proporcionar una mayor resistencia ante el ataque de agentes agresivos externos al mismo.

Los usos más comunes para los hormigones de alta resistencia son:

- Para colocar el concreto en servicio a una edad mucho menor, por ejemplo dar tráfico a pavimentos a 3 días después de su colocación;
- Para construir edificios más altos reduciendo la sección de las columnas e incrementando el espacio disponible;
- Para construir superestructuras de puentes de mucha luz y para mejorar la durabilidad de sus elementos;
- Para satisfacer necesidades específicas de ciertas aplicaciones especiales, tales como durabilidad, modulo de elasticidad y resistencia a la flexión. El HAR no es garantía por si mismo de mayor durabilidad.
- Obras en ambientes agresivos;
- Obras con mayores alturas de colocación;
- Obras que requieren un rápido desencofrado.



**FIGURA 2.12 CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE DE HORMIGÓN**

#### **2.4.2 Controles previos al vaciado**

El contratista debe colocar el hormigón tan pronto llegue al obrador para lo cual es necesaria una muy buena comunicación entre el personal de la planta y del obrador.

Especial atención debe merecer el curado de los hormigones de alta resistencia manteniendo adecuadas humedad y temperatura para permitir la continua hidratación del cemento.

El concreto que haya empezado con el proceso de fraguado no debe vibrarse, ni mezclarse, ni utilizarse en caso de demoras en obra.

### **2.4.3 Controles durante el vaciado**

Dado su alto contenido en cemento, extremar las condiciones de curado para reducir el riesgo de fisuraciones.

Tener especial cuidado con las condiciones ambientales extremas (mucho calor y mucho frío).

## **2.5 Hormigón de Alta Resistencia Inicial (HARI)**

### **2.5.1 Características**

Los adelantos en la tecnología de los materiales, que ha hecho posible la obtención de hormigones con una resistencia de 700 kg/cm<sup>2</sup> y aún mayores, han dado lugar también a la consecución de un hormigón más durable y más resistente a la corrosión y abrasión que los convencionales. Estos adelantos traen mayores responsabilidades y cuidadosa atención en la dosificación del hormigón, especificaciones, elaboración y ensayos, así como una mayor necesidad de coordinación y comunicación entre los diseñadores y constructores de estructuras.

Aplicaciones recientes indican su uso en depósitos, garajes, recubrimientos de calzadas de puentes, vertederos de presas,

estructuras más adentro, bóvedas para bancos, pisos industriales, elementos prefabricados de hormigón, hormigones pre-tensados, hormigones post-tensados, hormigones en que se requiera desmolde anticipado y hormigones en los que se requiere una alta durabilidad.

Además de la resistencia a la comprensión, otras propiedades mecánicas aconsejan la selección del hormigón de alta resistencia, incluyendo el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la deformación lenta (fluencia plástica).

Otras ventajas con respecto a los hormigones tradicionales son: mayor resistencia a la abrasión y al desgaste; mayor durabilidad; inferior peligro de figuración y daños en piezas premoldeadas, especialmente durante el manejo y transporte de las mismas; un mejor aspecto superficial y acabado como consecuencia de su mayor contenido de finos.

Los hormigones de alta resistencia pueden ser transportados en la forma convencional, pero el tiempo de transporte debe ser reducido posible para evitar mayores pérdidas de asentamiento.

Hormigones de alta resistencia inicial son aquellos que se utilizan cuando se necesitan una resistencia temprana mayor a la normal, en edades inferiores a 28 días.

Se podrían resumir las características principales de los hormigones de alta resistencia inicial en las siguientes:

- Alcanza la resistencia especificada a una edad más temprana que la que requiere un hormigón normal;
- Resistencias superiores a  $500 \text{ kg/cm}^2$  a la compresión.
- Utilizan un cemento de alta resistencia inicial en cantidades elevadas ( $356$  a  $593 \text{ kg/m}^3$ );
- Utilizan un reductor de agua de alto rendimiento;
- Tienen baja relación a/mc (materiales cementicios);
- El tamaño máximo del agregado debe ser escogido cuidadosamente porque influye indirectamente sobre la resistencia del hormigón entre (3/8" y 1")

Los usos más comunes para los hormigones de alta resistencia inicial son:

- Hormigones prefabricados (rápida producción de elementos);
- Construcciones de alta velocidad;

- Obras que se requieren la reutilización rápida de los elementos encofrados;
- Obras en clima frío;
- Pavimentaciones y reparaciones rápidas para reducir paralizaciones de tránsito (abrir el tránsito 24 horas después de haberlo colocado).



**FIGURA 2.13 VIADUCTO EN ESPAÑA**



**FIGURA 2.14 HORMIGÓN LANZADO (SHOTCRETE)**

### **2.5.2 Controles previos al vaciado**

Para tener una mejor recepción del hormigón premezclado, se deben considerar los siguientes puntos básicos:

- Debe existir una estrecha colaboración entre el cliente y el productor de hormigón premezclado, con el propósito de descargar rápidamente el hormigón después de llegar al sitio de colocación, eliminando todo tipo de retrasos. En algunos casos, puede ser necesario reducir el volumen de las mezclas por camión, si los procedimientos de colocación son más lentos que lo programado.
- Deberá ejercerse en obra un estricto control, para evitar cualquier adición de agua al hormigón, debido a las graves consecuencias que traería variar el asentamiento de cono y la razón agua cemento especificada.
- Revisar planos y especificaciones técnicas, de modo de comprobar que el hormigón especificado es el que se solicitó al momento de la compra.
- Verificar y chequear que los caminos de acceso e interiores de la obra, tengan las condiciones mínimas y adecuadas para soportar el paso de camiones.

- Verificar el buen funcionamiento de todos los equipos y herramientas destinados a la colocación del hormigón, como elevadores, cantidad de jornaleros, carretillas, palas, vibradores, etc.

### **2.5.3 Controles durante el vaciado**

La compactación es de gran importancia para lograr las resistencias potenciales en los hormigones de alta resistencia.

Después de la colocación se debe vibrar el hormigón lo más rápido posible, de manera de compactarlo, haciendo que llene todos los detalles del molde y se expulse el aire atrapado.

La correcta compactación depende del tipo de hormigón y vibradores a utilizar. Por esto, se debe considerar el volumen del hormigón, tamaño máximo del árido y el volumen de trabajo, para realizar una correcta elección del equipo.

## CAPITULO 3

### 3. CONTROLES DE CALIDAD FASE DE ENDURECIMIENTO

A diferencia de los hormigones convencionales, los Hormigones de Alto Desempeño deberán tener un proceso de curado mucho más controlado con el fin de lograr todo su potencial. En las especificaciones deberían enfatizarse en que se utilicen buenas prácticas de curado y en que esta actividad deberá ser recompensada. En la ciudad de Montreal, por ejemplo, existe una especificación en la que se dispone de un pago específico para el contratista por el curado del concreto [6]. Para el contratista es una manera simple de hacer dinero, por lo que pondrá mayor interés y cuidado en esta actividad.

### **3.1 Hormigón Compactado con Rodillo / Pavimentadora**

La regularidad superficial de cada lote de hormigón compactado se controlará dentro de las veinticuatro horas siguientes a su ejecución.

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 re-compactación 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.

Cuando el incumplimiento de las tolerancias sea debido exclusivamente a la existencia de puntos altos, éstos podrán eliminarse por abrasión con discos de diamante.

El espesor de la capa de hormigón compactado se comprobará mediante la extracción de testigos cilíndricos, con la frecuencia y en los puntos que señale el Director de las obras. Dicho espesor no deberá ser en ningún punto inferior en más de 15 milímetros al prescrito. Si se rebasase esta tolerancia, se extraerán testigos más próximos, para delimitar la zona rechazada.

Los orificios de los sondeos serán rellenados con hormigón de la misma calidad que el empleado en el resto de la capa, el cual será correctamente compactado y enrasado.

Por el bajo contenido de agua en la mezcla de HCR es necesario aplicar el curado de la superficie inmediatamente finalizada su compactación con el objeto de alcanzar la resistencia requerida. Se

controlará que la superficie del hormigón compactado permanece constantemente húmeda antes de la extensión del producto de curado. Para ello es conveniente aplicar agua en forma rocío sobre su superficie durante un periodo corto pero generalmente se estila hasta 7 días. La utilización de membranas de curado no es recomendable debido a que muy frecuentemente no se logra cubrir toda la superficie rugosa del hormigón. Adicionalmente esta puede ser dañada por las mismas actividades propias de la construcción. Se realizará un control diario, como mínimo, de la dosificación del producto de curado, mediante placa de 700 milímetros en cuadro.

Cuando las condiciones del proyecto establecen la utilización de una capa de rodadura de mezcla asfáltica sobre el HCR, puede aplicarse una capa de emulsión asfáltica como proceso de curado, con lo cual se obtienen resultados satisfactorios.

Las juntas transversales y longitudinales por contracción del HCR usualmente no son construidas, sin embargo cuando se requieren de ellas se pueden seguir los mismos procedimientos empleados para hormigón convencional (aserrado y sellado).

Cuando se construye una capa de rodadura asfáltica sobre el HCR, inevitablemente la capa asfáltica presentará fisuras producto de la reflexión de las juntas, fisuras y grietas existentes en el HCR. En

algunos casos se considera innecesario sellar estas fisuras mientras exista poco deterioro, ya que esto podría desmejorar la regularidad superficial del pavimento.



**FIGURA 3.1 ACABADO SUPERFICIAL DEL HCR**



**FIGURA 3.2 FISURA SUPERFICIAL**



**FIGURA 3.3 DESGASTE SUPERFICIAL**



**FIGURA 3.4 LOSA INUNDADA  
PARA MEMBRANA**



**FIGURA 3.5 CURADO  
CON MEMBRANA**

### **3.2 Hormigón Fast Track**

Compuestos de curado: Se han desarrollado compuestos para retardar la evaporación del agua de exudación que permiten asegurar un mejor curado temprano de los pavimentos de hormigón. Éstos se utilizan inmediatamente terminada una operación en la superficie y se mantienen hasta el corte. Una vez cortado el pavimento se coloca la membrana de curado. En el ICH (*El Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile*) aseguran que este nuevo sistema es más seguro y de menor costo ([www.ich.cl](http://www.ich.cl)).

Sistemas de frazadas para acelerar el endurecimiento: Un sistema moderno para acelerar la apertura al tráfico con hormigón tradicional es la utilización de frazadas sobre el pavimento. Estas frazadas se constituyen por un geotextil grueso o polietileno con burbujas, lo que

hace que el hormigón retenga calor de hidratación y aumente su temperatura, acelerando el endurecimiento y la apertura al tráfico. Con esta técnica, un hormigón HF 4,8 (48 kg/cm<sup>2</sup> a la flexotracción) se puede abrir al tráfico sin problemas a las 24 horas o antes.

Pavimentos delgados: Surgen a partir de la nueva versión del método de diseño ASSHTO 2002 que demuestra que si se acortan las losas se pueden adelgazar los pavimentos sin exponerse a fallas o roturas.

Existen dos tipos de técnicas para extender la vida útil del pavimento de hormigón: la conservación y rehabilitación. La rehabilitación recupera o aporta capacidad estructural al pavimento. Mientras, las técnicas de conservación tienen como objetivo principal la restauración de la capacidad funcional de un pavimento, disminuyendo la tasa de deterioro.

Entre las técnicas de conservación de pavimentos de hormigón están el cepillado o diamond grinding, ejecutado por la mayoría de los concesionarios, y la restauración de espesor parcial. Se utiliza para resolver problemas en el hormigón y consiste en el desbaste superficial de la losa por medio de una máquina cepilladora para remover deformaciones superficiales y potenciar la resistencia a la fricción del pavimento, así como la lisura o irregularidad superficial mínima, disminuir el escalonamiento, alabeo, desgaste e irregularidades

generales. Además el cepillado mejora el drenaje superficial porque deja una especie de canalito longitudinal que hace circular el agua.

Contribuye también a disminuir el nivel de ruido de la interacción del neumático de vehículos en pavimento en 2 a 3 decibeles.

Entre las técnicas de rehabilitación que mejoran el comportamiento y aumentan la vida útil del pavimento destacan: Reparación de espesor parcial, reparación de grietas con barras en cruz, y la estabilización de losas.

Lo primero a considerar es que no hay necesidad de reparar las grietas en caso de que no sean profundas porque contribuyen a liberar tensión. Para repararlas se coloca un material tipo plumavit o cartón que absorbe los movimientos de expansión y contracción del hormigón, pues si se coloca un material incompresible, el pavimento se revienta. Para comprobar si las grietas están «trabajando» hay equipos especiales como el deflectómetro que mide la transferencia de carga de una junta a otra o la deflexión al centro de la losa.

### **3.3 Hormigón Auto-compactante (HAC)**

De la misma manera, al presentar un endurecimiento rápido causado por la poca agua de exudación, se recomienda iniciar el proceso de curado inmediatamente después de haber sido vaciado el hormigón en

la estructura. Cualquier técnica conocida es aplicable para la aplicación del curado.

Los resultados en probetas moldeadas así como los de testigos extraídos de diferentes zonas de estructuras endurecidas, demuestran que las propiedades del Hormigón Autocompactante en estado endurecido son similares o superiores a las del hormigón tradicional que ha sido vibrado. Pese a su gran fluidez se obtienen perfectamente altas resistencias para aquellas estructuras que lo requieran.

El efecto de un curado deficiente en la resistencia del hormigón también ha sido analizado, demostrándose que a edades de hasta 90 días la resistencia del Hormigón Autocompactante es menos afectada que la del hormigón tradicional, cuando el curado es inapropiado. Esto se atribuye a una mejor capacidad de retención de agua del HAC.

Es conveniente realizar un buen curado que evite la desecación superficial y los efectos de la retracción plástica a la que el HAC puede resultar más vulnerable que el hormigón de compactación convencional.

Presenta además baja permeabilidad y resistencia a las heladas cuando fuera necesario. **[9]**

### **3.4 Hormigón de Alta Resistencia**

Durante la construcción se deben tomar medidas extras para protegerlo de la contracción por secado y agrietamiento por temperatura en las secciones delgadas. Se puede requerir mucho tiempo antes de desmoldar una estructura con este tipo de hormigón.

El curado es de vital importancia para que un hormigón de alta resistencia alcance su resistencia potencial. Es preciso suministrar la humedad adecuada para que el hormigón no pierda rápidamente el agua que necesita el cemento para hidratarse, así como las condiciones favorables de temperatura durante un período prolongado, particularmente cuando se especifiquen resistencias para el hormigón a edades mayores a 28 días. Nunca debe ser inferior a 4 días para hormigones con cemento de alta resistencia.

Algunos de los métodos para evitar la evaporación de agua son:

- Láminas impermeables, polietileno, plástico, etc.
- Cubiertas mojadas, arpilleras.
- Membranas de curado
- Riego permanente.

En el caso de elementos verticales, como muros o pilares, es recomendable mantener el encofrado al menos por tres o cuatro días, después del hormigonado.



**FIGURA 3.6 CURADO DE COLUMNAS USANDO PLÁSTICO**  
<http://www.builderbill-diy-help.com> my website

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

El logro de los objetivos de la calidad puede tener un impacto positivo sobre la calidad del producto, la eficacia operativa y el desempeño financiero y, en consecuencia, sobre la satisfacción y la confianza de las partes interesadas.

Los beneficios de utilizar hormigones de alto desempeño apenas se están haciendo presentes. Con el incremento en la utilización de este hormigón en proyectos de ingeniería se alcanzarán más y mayores beneficios en el orden económico. De cualquier forma,

los proyectos ya realizados han demostrado las ventajas en su utilización. Por ahora, este hormigón le permite a la ingeniería diseñar con más eficiencia en cuanto a costos y a la utilización del espacio. En el futuro, estas consideraciones podrían inclinar la balanza en cuanto a que ciertos proyectos se construyan o no.

El desarrollo de resistencia de los hormigones se ve influenciado fundamentalmente en las primeras edades por la disponibilidad de agua para asegurar la hidratación del cemento. La pérdida temprana de agua, dependiendo de la forma de los elementos estructurales o de la zona de emplazamiento de la estructura, puede llevar a una disminución importante no solamente en las propiedades mecánicas sino también en las propiedades durables de las estructuras.

La pérdida de resistencia debida a un curado deficiente se torna más crítica en el caso de elementos estructurales esbeltos o con gran superficie de exposición al medio ambiente. En hormigones convencionales se puede obtener un importante desarrollo de productos de hidratación debido a la disponibilidad de espacios suficientes para el crecimiento de los hidratos. En cambio, en los HAP debido a los altos contenidos de materiales cementíceos y al escaso contenido de agua de mezclado, la hidratación no siempre

resulta completa. Esto se vincula a la posibilidad de que un curado deficiente influya negativamente sobre la calidad final de la estructura.

#### **4.2 Recomendaciones**

Con el objeto de que empresas constructoras dedicadas a la construcción de carreteras acumulen experiencia en el empleo de la tecnología del HCR / HCP, se puede considerar la construcción de proyectos de baja envergadura, lo cual permitirá crear antecedentes para implementar los procesos constructivos adecuados.

En los reglamentos actuales es difícil encontrar enfoques y disposiciones tendientes a asegurar la durabilidad prevista para las obras, por lo cual se hace necesario desarrollar procedimientos más eficaces que los actuales.

Trabajar en conjunto con las empresas contratistas para concientizar a todo nivel la necesidad de cumplir con los controles y standards de calidad según las especificaciones y normas de los nuevos productos de hormigón.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] BUCHAS, J. et al, "Hormigones de Alta Performance. Un nuevo desafío tecnológico para La construcción en la presente década". CEMENTO – HORMIGÓN, N° 730, España, 1994.

[2] UNNE, Astori Raul-Sanguinetti Bibiana-Bizzotto Marcela, "La Tecnología del Hormigón y su desarrollo sustentable". Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005, T-054, Argentina, 2005.

[3] Kumar Mehta, P. y Burrows, R. W.. "Building durable structures in the 21st Century". Concrete International, V.23, N° 3, pp. 57-63. March 2001

[4] Morin, R., Haddad, G., Aitcin, P.C., (2002) Crack-free High-Performance Concrete Structures, Concrete International, Vol 24, No. 9, pp. 51-56.

[5] Viceministerio de Obras Públicas, Unidad de Investigación y desarrollo vial; Cesar Carrillo, Víctor Orellana, San Salvador, (2003)

[6] ACI Committe 325, Report on Roller Compacted Concrete Pavements, American Concrete Institute, Reapproved 2001.

[7] Bernardo De la Peña, B. 2000. Hormigón autocompactante, nueva tecnología para la construcción con hormigón. Revista BIT, Cámara Chilena de la Construcción, Junio 2000.

[8] EFNARC (*European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete*), Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, February 2002.

[9] Revista Hormigonar, Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, página 7, mayo 2004.