Control de Calidad en Obra para Hormigones de Alto Desempeño

Napoleón Garnica Enderica / Jorge Sánchez Zamora
Ing. Jorge Flores (Director de Tesina)
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Guayaquil, Ecuador

Resumen

Uno de los mayores desafíos para la tecnología del hormigón es incrementar la vida útil en servicio de las estructuras. 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. El deterioro acelerado de las estructuras de hormigón armado tiene una relación directa con el medio ambiente, materiales, normas técnicas y los procedimientos de control. En los HAD estos fenómenos se presentan con mayor intensidad debido a sus particulares características físicas, químicas, mecánicas, y los defectos se hacen evidentes. La vida útil de una estructura depende de su durabilidad. Se puede llegar a deducir 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 debido al ambiente no controlado que se tiene en el campo para obtener los mismos resultados que en el Laboratorio. Es precisamente por este punto que se hace notoria la necesidad de cumplir y aplicar concientemente todas las especificaciones, regulaciones y sistemas de calidad para controlar y monitorear todas las fases que intervienen durante la ejecución del proyecto.

Palabras Claves: *Hormigones de Alto Desempeño, Calidad, Control, Monitoreo, Durabilidad.*

Abstract

One of the biggest challenges for concrete's technology is to increase the useful life in service of the structure. The technological development, experimentation and analysis based on the observation, allowed to increase the use spectrum and application from the special concretes to that now is denominated High Performance Concrete, HPC. The quick deterioration of reinforced concrete structures has a direct relationship with the environment, materials, technical norms and control procedures. In the HPC these phenomenon are presented with more intensity due to their physical, chemical, mechanical characteristic matters, and the defects become evident. The useful life of a structure depends on its durability. It's possible to deduce that it is in the construction phase where is feasible that more errors could be made whose effects on the structure will have a major impact due to the not controlled environment that occur in the field to obtain the same results of a Laboratory. Because of this fact, becomes notorious the necessity to complete and to apply consciously all specifications, regulations and quality systems to control and monitoring the several phases that get involved during the execution of the project.

1. Antecedentes

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. Los avances logrados en el laboratorio no tuvieron el mismo efecto correspondiente en los resultados cuando se analizaban sus aplicaciones reales.

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.

2. 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.

3. Generalidades de los HAD

Según el Taller sobre Hormigones de Alto Desempeño (HAD) realizado en 1990 por el NIST, el ACI 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]**

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.

Una definición interesante la da el 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."

Definición del Ing. C. H. Goodspeed (Estados Unidos): "Puede llamarse hormigón de alto desempeño (HPC por sus siglas en inglés) 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."

Es posible observar que las definiciones de los HAD presentan un elemento en común con el cual identificarlos, esto es, en términos de durabilidad. Se hace necesario de alguna manera poner límites con los cuales caracterizar e identificar los HAD en términos de parametrizaciones, que, dependiendo del tipo de especificación, pueden ser la resistencia a la compresión, contenido de cemento, fluidez, peso, reactividad con el medio circundante.

Pueden identificarse algunos grupos de Hormigones de Alto Desempeño con los cuales clasificarlos dependiendo de sus principales características, estos son: Hormigón Compactado con Rodillo / pavimentadora; Hormigón Fast Track; Hormigón Autocompactante; Hormigón de Alta Resistencia; Hormigón de Alta Resistencia Inicial.. Existen otros tipos sobre los cuales no trata este reporte, pero son aquellos que presentan mayor alteración o complejidad a en sus propiedades químicas, p.e. Hormigón ligero, Hormigón Traslúcido; hormigón de polvo reactivo.

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. 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.

4. Propiedades de los HAD

4.1. Hormigón Compactado con Rodillo / Pavimentadora (HCR / HCP)

Este es un hormigón con bajo contenido de cemento que requiere de áridos de muy buena calidad y con la cantidad de agua mínima de tal forma que se produzca un asiento no medible por los métodos tradicionales, que le permita ser compactado con rodillo. Su comportamiento general es muy similar a los hormigones convencionales. Presenta además baja fisuración. Al ser un hormigón seco debe ser colocado con equipo de movimiento de suelo/asfalto y compactado con rodillo vibratorio.

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 micro fisuración de la pasta alrededor de las partículas del árido. La retracción de secado resulta también afectada por la relación agua/cemento.

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. Su correcto desempeño se basa en una eficiente compactación.

4.2. Hormigón Fast Track

La utilización de recubrimientos ultradelgados de hormigón es una técnica de desarrollo relativamente reciente en el mundo. El desarrollo simultáneo de hormigones de habilitación temprana (Fast-Track) permite sumar las ventajas de la puesta en servicio de los recubrimientos a pocas horas de haber concluido la ejecución propiamente dicha, con lo que se consigue un recubrimiento ultradelgado de habilitación temprana.

Los espesores empleados para los recubrimientos ultradelgados varían entre 5 cm a 10 cm; para espesores mayores del hormigón se trata de recubrimientos convencionales.

Este hormigón requiere de altas resistencias iniciales de tal manera que minimice los tiempos de curado, aserrado, sellado y habilitación. Los hormigones que se emplean para los recubrimientos delgados deben contemplar las limitaciones impuestas por el espesor, de forma tal de adecuar su tamaño máximo a no más de 1/3 o preferiblemente ¼ del espesor de losa.

Los asentamientos que se emplean son los típicos para los equipos disponibles, y puede citarse un entorno entre 8 y 12 cm.

4.3. Hormigón Autocompactante (HAC)

La tecnología del Hormigón autocompactante (HAC) es un nuevo concepto de hormigón que ofrece una muy buena colocación de la mezcla, suprimiendo la obligatoria fase de vibrado. Las ventajas son: facilidad de operación de una faena pesada, mejor terminación de las superficies, mayor rapidez de hormigonado, menos contaminación acústica, ahorro en personal y equipos, óptima calidad de los elementos hormigonados. Además de las ventajas mencionadas, el Hormigón Auto Compactante permite obtener altas resistencias a corto y largo plazo, baja relación agua/cemento, alta impermeabilidad y durabilidad.

La operación de vibrado requerido para todos los hormigones convencionales muchas veces no deja el hormigón completamente consolidado, especialmente en elementos esbeltos, densamente armados o de formas complicadas. Además, la vibración, en la mayoría de los casos, produce un alto nivel de ruido y puede ser causa de seria enfermedad para los operarios. La vibración también produce desgaste y ejerce fuerte presión en los moldes. Por otro lado, una vibración mal hecha produce segregación en el hormigón. En la industria de prefabricados a medida que los productos se hacen más y más complejos se necesita mayor fluidez y más enérgica vibración. Ambas necesidades son caras y, dependiendo de la complejidad de los elementos fabricados, no siempre se obtienen los resultados deseados.

El aspecto sobresaliente de este hormigón es su capacidad de deformarse por acción de su propio peso, habilidad que puede denominarse como “autocompactibilidad” 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. A pesar de su alta fluidez, el agregado grueso no se segrega. El Hormigón Auto Compactante es ideal para formas complejas y donde es dificultoso obtener la fluidez y adecuada consolidación del hormigón.

Permite también hacer aquello que se pensaba era imposible de realizar en el pasado. 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.

Tiene mayor durabilidad que los hormigones tradicionales con la misma relación a/c. Permite la optimización de los recursos de personal y equipos para su colocación con la posibilidad de reducción de los costos. Reducción de los tiempos constructivos. Incrementa la calidad y confiabilidad en las estructuras.

4.4. Hormigón de Alta Resistencia (HAR)

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 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.

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. Tienen baja relación a/c aproximadamente 0.22 para obtener una consistencia adecuada.

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. Entre sus usos se destacan: 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; obras en ambientes agresivos; obras con mayores alturas de colocación; obras que requieren un rápido desencofrado.

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 ≥ 70MPA;

• 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.

El HAR no es garantía por si mismo de mayor durabilidad.

4.5. Hormigón de Alta Resistencia Inicial (HARI)

Los adelantos en la tecnología de los materiales, que ha hecho posible la obtención de hormigones con una resistencia de 700 kg/cm2 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.

P. Kumar Mehta y Richard W. Burrows **[3]**, se preocuparon por la inconsistencia entre los reportes de laboratorio y las manifestaciones reales en numerosas aplicaciones, en las cuales se ha producido un deterioro más acelerado que el estimado. Considerando que en la práctica los hormigones de mayor resistencia inicial, son más propensos a la fisuración y se deterioran más rápido en ambientes agresivos. “Comparativamente a los hormigones antiguos, los modernos hormigones tienden a fisurar más fácilmente debido al creep inicial y a la mayor contracción térmica, retracción por secado y módulo elástico” atribuyendo estas características al incremento gradual del contenido de C3S, a la finura y a los elevados contenidos de cemento de los hormigones de alta resistencia. Proponen que “Cuando se considera la vida en servicio de las estructuras deberían usarse con precaución los resultados de ensayos de laboratorio, debido a que el comportamiento de fisuración del hormigón es altamente dependiente de las medidas del espécimen, de la historia de curado y de las condiciones del medio ambiente” debido a que no representan las condiciones de restricciones al cambio de volumen que tienen las estructuras reales. También destacan que “debido al curado incorrecto los hormigones con altos contenidos de cenizas volantes o escoria tienden a fisurarse y deteriorarse en la realidad. Mientras que el curado adecuado aplicado a las muestras de laboratorio hace que presenten excelentes performances en las pruebas de durabilidad”.

La aplicación de hormigones de alta resistencia ha tenido y tiene una gran aceptación en edificios de gran altura. En Chicago, donde es usual la construcción de edificios de gran altura y ante los peligros que pueden presentar las estructuras metálicas frente a los incendios, se ha optado, en muchos de ellos, el empleo de los hormigones de alta resistencia inicial a fin de conseguir las resistencias necesarias para disminuir secciones y pesos sobre las cimentaciones.

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 lo más posible para evitar mayores pérdidas de asentamiento.

5. Controles de calidad en estado fresco

5.1. Hormigón Compactado con Rodillo / Pavimentadora (HCR / HCP)

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.

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. 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.

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 hinca 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.

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.

5.2. Hormigón Fast Track

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.

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.

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

5.3. Hormigón Autocompactante (HAC)

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.

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. **[4]**

5.4. Hormigón de Alta Resistencia (HAR)

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.

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).

5.5. Hormigón de Alta Resistencia Inicial (HARI)

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 especificado.
- 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.

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

6. Controles de calidad estado endurecido

6.1. Hormigón Compactado con Rodillo / Pavimentadora (HCR / HCP)

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.

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 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.

6.2. 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).

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/cm2 a la flexotracción) se puede abrir al tráfico sin problemas a las 24 horas o antes.

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.

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.

6.3. Hormigón Autocompactante (HAC)

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. **[5]**

6.4. Hormigón de Alta Resistencia (HAR)

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. 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.

7. 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.

En los HAD 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.

Los responsables de la fase constructiva de los proyectos civiles deben comprender que el control de la calidad no es una actividad que representa gastos sino más bien es un elemento de apoyo que los protegerán de sobre costos ante eventuales reparaciones, y es un elemento obligatorio para con el usuario final del producto en función de precautelar la seguridad y durabilidad de las estructuras construidas.

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.

12. Referencias

[1] BUCHAS, J. et al, "*Hormigones de Alta Perfomance. Un nuevo desafío tecnológico para La construcción en la presente década*". CEMENTO – HORMIGÓN, Nº 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, Nº 3, pp. 57-63. March.

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

Ing. Jorge Flores
Director de Tesina