Ataque de los sulfatos a los hormigones de Alto Desempeño

Kléber Coronel Carrasco / Eduardo Balseca Hidalgo
Ing. Xavier Arce (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

Cuando el profesional proyecta y construye una estructura no solamente debe preocuparse de definir el nivel de resistencia del hormigón, sino que debe establecer las características que ese hormigón debe tener a fin de lograr que esa estructura cumpla con las condiciones de uso para las que fue proyectada durante toda su vida útil. Para ello, resulta fundamental conocer el grado de agresividad a los que serán sometidos los diferentes elementos componentes de las estructuras. A continuación nos referiremos a hormigones de características especiales que pueden elaborarse con el fin de lograr adecuadas condiciones de durabilidad de las estructuras.

En los últimos años el estudio de la durabilidad de estos hormigones especiales frente a la acción de agresiones químicas se ha estado desarrollando en casi todos los centros de investigación del país y del extranjero.

Los suelos salinos, al igual que las aguas sulfatadas, representan un problema para el hormigón que está en contacto con los mismos, debido al deterioro progresivo producido por el ataque de los sulfatos.

Cuando se construyen elementos estructurales que serán sometidos a altas concentraciones de sulfatos resulta fundamental la construcción de un hormigón suficientemente impermeable, como requisito adicional y dependiendo de las condiciones de agresividad se debe especificar la utilización de cemento Pórtland apropiado.

Palabras Claves: *Hormigones de Alto Desempeño, Sulfatos, Durabilidad.*

Abstract

When a professional plans and builds a structure, he should not only worry about defining the resistance of the concrete, but also the characteristics that the concrete should have so that the structure fulfills the conditions of use required for its intented life span. For this matter, it is fundamental to know the aggressiveness of the conditions to which the different structural elements will be exposed. We will now discuss special concretes that can be fabricated in order to achieve adequate durability of the structures.

In recent years the study of the durability of these special concretes against chemical attack has been developed in most investigative centers in the country and abroad.

Saline soils, as well as water with sulphates, represent a problem when in contact with concrete, due to the progressive deterioration caused by sulphate attack.

When structural elements that will be subjected to high concentrations of sulphates are built, it is fundamental that a sufficiently waterproof concrete is built. As an additional requirement, and depending on the severity of the conditions, the appropriate Portland cement should be used.

Keywords: *High Performance Concrete, Sulphates, Durability.*

1. Antecedentes

Probablemente, el ataque de los sulfatos constituya una de las formas más difundidas en el mundo de agresión química al hormigón.

Ámbitos propicios donde encontrar sulfatos:

Se encuentran presentes en el suelo, particularmente los arcillosos.

Disuelto en el agua de las capas freáticas.

En al agua de mar.

Otra fuente de aporte la constituyen los ambientes de descomposición orgánica, en procesos anaerobios donde se forma SH2, compuesto que puede transformarse posteriormente en ácido sulfúrico (SO4 H2) por acción bacteriológica.

Ambientes urbanos o industrializados, con altos grados de polución ambiental (lluvia ácida).

Puede formarse a partir de ciertos procesos biológicos que degradan lentamente al hormigón, incluso en aquellas estructuras que no se hallan en contacto directo con el suelo.

Las obras que se ven afectadas son aquellas que han sido desarrolladas en medios en que existe la presencia de sales disueltas en el agua, tales como pilotes, columnas y bases de puentes, edificios y viviendas.

2. Objetivos

2.1 Determinar los principales síntomas de un hormigón de alto desempeño atacado por sulfatos.

Los daños se manifiestan por un hinchamiento y una destrucción lenta de la superficie del hormigón o bien, si la reacción se produce en profundidad, por una verdadera reventazón del hormigón.

Si se tiene sospecha que el hormigón puesto en obra puede entrar en contacto permanente con el agua con iones sulfato, ésta se debe analizar de manera que se determine su agresividad eventual. Una medida de defensa que se puede poner en práctica es el empleo del cemento portland de alta resistencia a los sulfatos, ARS.

El ataque por los sulfatos se basa en la formación de estringita: (3CaO.Al2O3.3CaSO4.32H2O), luego de la reacción del aluminato tricálcico del cemento (3CaO.Al2O3) con el agua cargada de iones sulfato (SO4). Lo más corriente es que los iones sulfato sean aportados por el yeso, CaSO4.

El ataque de sulfatos ocurre donde hay concentraciones relativamente altas de sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, tanto en suelos como en aguas subterráneas, superficiales o en aguas de mar. También pueden ocurrir asociados a algunas instalaciones industriales, desechos, aguas fecales o subproductos de cualquier tipo, acumulados de forma incontrolada. Los sulfatos son muy solubles en agua y penetran con facilidad en estructuras de hormigón expuestas a los mismos.

Asociados sobre todo a rocas y procesos volcánicos, rocas y minerales de origen evaporítico y alteración de sulfuros asociados a yacimientos minerales, tenemos importantes concentraciones de Yeso, Glauberita, Thenardita, etc, en la mayoría de nuestros suelos. Dado que la presencia de sustratos y aguas sulfatadas en Ecuador es más que frecuente, deberán tomarse precauciones en la construcción de obras de hormigón.

3. Mecanismo del ataque de los sulfatos en los hormigones de alto desempeño.

El medio ambiente puede tener concentraciones agresivas de sulfatos en suelos y en las aguas en contacto con las estructuras de hormigón. Los sulfatos sólo pueden entrar al hormigón endurecido si están disueltos en agua lo que ocurrirá con mayor o menor dificultad dependiendo de la permeabilidad del hormigón. Es posible que los sulfatos se incorporen al hormigón a través de agregados contaminados, pero esto no debiera ocurrir ya que existen limitaciones precisas en la cantidad de sulfatos que debe poseer un agregado para poder ser utilizado en hormigón.

3.1 Ataque físico.

El ataque físico ocasionado por los sulfatos se presenta como la cristalización de sales de sulfato en la superficie del hormigón. Este mecanismo de deterioro comienza cuando las estructuras de hormigón están sometidas a ciclos de humedecimiento y secado muy intensos como los que produce la acción de la marea en el mar y los esteros.

Esto se puede ver en los puentes, muelles y muros de contención que estén en contacto con el agua de mar o esteros.

3.2 Ataque químico.

Una vez que los sulfatos ingresan al hormigón endurecido, reaccionan químicamente originando compuestos expansivos como la etringita, el yeso y la thaumasita. De todos ellos, la principal causa de deterioro en el hormigón es la formación de etringita que procede básicamente de la combinación de los sulfatos con hidratos del Aluminato Tricálcico (C3A) del cemento.

La expansión provocada por la aparición de etringita en el interior del hormigón endurecido lleva a grandes esfuerzos internos que producen la fisuración del mismo. Las fisuras facilitan y aceleran el ingreso de más sulfato pudiendo llegarse a la desintegración del hormigón.

Cuando el hormigón se encuentra expuesto a un medio que contiene sulfatos, las reacciones que pueden deteriorarlo dependen del tipo de sulfato, pudiendo señalarse la formación de productos químicos indeseables, tales como:

- El sulfato de sodio forma yeso + etringita secundaria
- El sulfato de magnesio forma yeso + etringita secundaria + ataca al silicato de calcio hidratado, provocando su descomposición.

En cualquiera de los casos señalados, la formación de especies como la etringita, provoca fuerzas expansivas que van superando la resistencia del hormigón, llegando en casos extremos a la destrucción de su estructura. El mismo resultado, produce la formación de un medio ácido que ataca al silicato de calcio hidratado.

4. Métodos usados para prevenir el ataque de los sulfatos al hormigón.

Muchas veces en los pliegos se hace referencia a la utilización de Cementos ARS. Estas son las siglas de Altamente Resistente a los Sulfatos e indican que el cemento (normal, puzolánico, fillerizado, etc.) ha sido elaborado utilizando clinker con bajo contenido de AC3, ya que es ampliamente conocido que el ataque de los sulfatos está directamente relacionado con el contenido de este compuesto en el cemento. Para prevenir el ataque de los sulfatos al hormigón es necesario modificar el contenido de hidróxido de calcio en el hormigón mediante la adición de puzolanas tales como:

- la ceniza volante,
- las escorias de alto hornos ,
- filler calcáreo.

De tal forma que la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio y no con los sulfatos.

Sin embargo, si la adición empleada contiene gran cantidad de oxido de aluminio (AL2O3) activo (arcillas calcinadas, pumita, algunas tobas volcánicas), el comportamiento ante el ataque de sulfatos no tendrá ningún efecto.

Para el diseño de los hormigones será necesario:

a) Identificar la agresividad del medio ambiente.

b) En función del dato previo seleccionar

Tipo de cemento que debe utilizar.

Contenido mínimo de cemento que debe utilizar.

Relación a/c que no debe superar.

Resistencia mínima que debe especificar para el hormigón.

Para proteger al hormigón del ataque de los sulfatos es necesario tomar las siguientes acciones:

4.1. Usar un cemento adecuado.

Para prevenir el ataque de los sulfatos al hormigón es importante el uso de cementos Resistentes a los Sulfatos (ARS, MRS).

El ingreso de los sulfatos al hormigón está gobernado por la permeabilidad del mismo. Para que la permeabilidad sea mínima, es importante asegurar un contenido adecuado de cemento, minimizar la relación agua/cemento, garantizar una correcta colocación, compactación y curado del hormigón. Con éstas medidas se garantiza la calidad del hormigón fresco y se minimiza el riesgo de defectos en el hormigón endurecido, como fisuras y elevada porosidad en su superficie, lo que facilita el acceso de los sulfatos disueltos en agua.

Para tener un diseño de hormigón es necesario determinar un correcto componente cuantitativo de sus elementos.

Para esto se debe tener un cuidado especial en las características que se desean en el producto final, ya que la dosificación es una receta que si se varia la cantidad de alguno de los agregados se obtendrá quizás un producto que perjudique en forma no pensada. La estructura del hormigón tiene que ver mucho la calidad de los materiales, siendo proporcional a la calidad que se espera de la mezcla de hormigón.

En cuanto a la calidad del cemento, este deberá tener un moderado contenido de C3A (alrededor del 8%) para prevenir una reacción química entre el hormigón y en medio ambiente o agua marina.

Un alto contenido de cemento es preferible, un mínimo de 425 (Kg. /m3).

La razón agua /cemento deberá ser lo mas baja posible, se recomienda máximo 0,4 en orden a reducir la permeabilidad.

Se puede aceptar los cementos con adiciones activas como puzolana y escorias de altos hornos.

En general, los cementos puzolánicos y siderúrgicos tienen muy buen comportamiento frente al ataque de sulfatos, porque en estos cementos es difícil la formación de sulfoaluminato de calcio debido a la baja cantidad de hidróxido de calcio liberada durante la hidratación de la pasta.

Se puede considerar que el hormigón puede protegerse del ataque por sulfatos, si se especifica el tipo de cemento.

Para seleccionar el tipo de cemento adecuado para lograr resistencia a los sulfatos, la principal consideración a tener en cuenta es el contenido de aluminato tricálcico (C3A), bajo contenido de C3A y una relación de C3A/SO3 inferior a 3.

A continuación nombraremos los tipos de cementos con bajo contenido en porcentajes de C3A.

Cemento Pórtland Tipo II

(Contenido máximo de C3A a 8%, de acuerdo con ASTM C 150).

Este cemento es moderadamente o medianamente resistente al ataque de sulfatos y se debe a su composición química , se lo considera importante, como en el caso de las estructuras de drenaje en áreas donde la concentración de sulfatos en el agua subterránea es mayor que lo habitual, pero el grado de ataque no es necesariamente severo (0,10 - 0,20 por ciento).

Por lo regular el cemento tipo II se lo puede conseguir sin dificultad.

Cemento Pórtland Tipo V.

(Bajo contenido de aluminato tricálcico contenido máximo de C3A igual a 5%).

Se especifica este tipo de cemento, para hormigones expuestos a un grado de ataque de sulfatos severo, especialmente cuando el suelo o el agua subterránea tiene un elevado contenido de sulfatos.

Adicionalmente, la norma establece como criterio alternativo para evaluar la capacidad de resistir el ataque de sulfatos el porcentaje de expansión a 14 días medidos según la norma ASTM C 452, cuyo valor máximo no puede exceder al 0,04%.

El cemento tipo V solo se lo consigue en ciertas áreas en las cuales son necesarios diseñar para ambientes donde el grado de ataque de los sulfatos es severo o muy severo.

Cementos Mezclados.

(Según la norma ASTM C 595).

Son cementos de tipo V mezclados con puzolana o escoria de altos hornos, estos también proporcionan resistencia a los sulfatos.

Cuando el grado de exposición a los sulfatos va de moderado a severo.

También, se pueden utilizar otros tipos de cementos producidos con bajos contenidos de C3A.

Los cementos mezclados pueden ser difíciles de conseguir.

Antes de especificar un cemento resistente a los sulfatos el ingeniero debe verificar su disponibilidad y tendrá que diseñarse para ambientes donde el grado de ataque de los sulfatos es severo o muy severo.

4.2 Materiales para el diseño de hormigones de alto desempeño que resistan el ataque de sulfatos.

Los materiales para preparar hormigón son:

4.2.1 Agregados.

Es la porción mayor de la dosificación y tiene que estar libre de materias orgánicas, sustancias solubles, películas adheridas, ni elementos blandos, deleznables o propensos a la descomposición.

Tiene que ser químicamente inerte respecto al cemento y mecánicamente tenaz y adhesivo con la pasta de cemento.

Estará constituido por trozos duros, no absorbentes, ni permeables, estables. Su granulometría será la del mínimo de huecos para obtener la máxima compacidad.

Tanto el árido fino como el grueso utilizados deben cumplir como mínimo los requerimientos de la norma ASTM, sin embargo las excepciones que se indican a continuación, para el agregado fino y el grueso, pueden ser de utilidad.

Agregado fino.

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado, y por lo tanto es preferible en los HAD.

Se acepta habitualmente que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

Una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de agua en los HAD, más que por el acomodamiento físico.

La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

La granulometría del agregado fino tiene, entonces, un rol importante. Por ejemplo, un exceso en el pasante de los tamices Nº 50 y Nº 100 incrementará la trabajabilidad pero se hará necesario aumentar el contenido de pasta para cubrir la mayor superficie de estas partículas, además de generar el riesgo de tener que incluir más agua a la mezcla.

Agregado grueso.

Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12,7 a 9,5).

En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm. es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm., y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados.

Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituración), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en hormigón.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado

Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas.

Sin embargo se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y elongadas.

Resulta obvio destacar que un HAD requiere agregados de resistencia elevada. No serviría de nada obtener una pasta de cemento muy resistente con una zona de transición con características similares, si el agregado que se utiliza es débil y de mala calidad.

Finalmente los agregados deberán ser limpios y libres de suciedad o depósitos de sal, en caso de duda se tienen que lavar, además el contenidos de sales no debe superar los limites establecidos en la norma.

4.2.2 Aditivos.

Son ingredientes que se mezclan al hormigón, antes o durante el amasado con agua, con el fin de darles cualidades determinadas.

En hormigones de alto desempeño es frecuente usar aditivos reductores de agua de alto rango denominados de cuarta generación, este esta compuesto de policarbosilatos, con el fin de mejorar su trabajabilidad y reducir la segregación durante su manipulación.

Para hormigones sumergidos se utiliza muchos retardadores y plastificantes.

A continuación se detalla los tipos de aditivos más usuales y sus principales características:

Superplastificantes – acelerantes sin cloruros.- Son aditivos reductores de agua de alto poder, con poder acelerante sobre el endurecimiento del concreto. Ayudan a la rápida ganancia de resistencia edades tempranas sin influenciar de una manera negativa en la resistencia final. Deben cumplir la norma ASTM C494 TIPO F.

Reductores de agua de alto rango.- Son aditivos reductores de agua de alto rango y superplastificantes, fabricados con polímeros policarboxilatos. Deben cumplir la norma ASTM C494 TIPO A y F.

Hiperplastificantes de alto rendimiento.- Son aditivos hiperplastificantes de tercera generación para hormigón. Deben cumplir la norma ASTM C494 TIPO F.

Retardadores.- Un retardador puede controlar el tiempo de fraguado del hormigón colocado para eliminar las juntas no deseadas y dar mayor flexibilidad a los cronogramas de colocación. Al usar retardadores de fraguado hay que tener en cuenta que la resistencia a 24 horas y posteriores usualmente se incrementan con la dosis habituales del aditivo.

Incorporadotes de aire.- La resistencia del hormigón dependerá de la relación gel-espacio, la que se define como la relación entre el volumen de pasta de cemento hidratada y la suma de los volúmenes de pasta hidratada más los de los poros capilares. Esto es particularmente cierto cuando se utilizan agentes incorporadores de aire; casos en los cuales la resistencia de la mezcla se puede reducir de un 5 a un

7% por cada 1% de aire intencionalmente incorporado en el hormigón. Por su característica de disminuir la resistencia se lo ha utilizado sólo donde se necesita una durabilidad mejorada, como por ejemplo en hormigones que estarán sujetos a ciclos de congelación y deshielo.

Es necesario hacer una mezcla de prueba para establecer la dosificación y determinar cualitativamente los resultados.

4.2.3 AGUA

Generalmente, deberá tener la calidad de ser potable y estar libre de turbidez excesiva y materiales orgánicos.

Para mayor durabilidad y particularmente en exposiciones en climas semi-tropicales se tienen que imponer estrictas limitaciones con respecto al porcentaje de cloruro de magnesio (1%).

Algunos expertos dicen además que cuando la estructura esta permanentemente sumergida la corrección podría no ocurrir, siempre que exista un alto PH y un contenido de sal uniforme

5. Reparación y protección de elementos de hormigón atacados por sulfatos.

5.1 Reparación.

A continuación hablaremos brevemente sobre el origen de los daños que causa el ataque de agentes químicos en un hormigón de alto desempeño.

Los factores que dependerán, debido al ataque químico a las estructuras de hormigón son:

- Características del hormigón: contenido y tamaños de huecos, porosidad accesible.
- Características de agentes agresivos.
- Condiciones ambientales.
- Exposición de los elementos a agentes agresivos.
- Cuantificación de la agresión.
- Velocidad de la agresión o alteración del hormigón (ataque de sulfato a corto y largo plazo).

Una vez identificado el daño en la estructura de hormigón debido al ataque químico por acción de sulfatos en los elementos, tales como (pozos, losas, pilotes, muros de contención u otros.

Para su debida reparación se seguirá los siguientes pasos:

La reparación del elemento afectado se realizara mediante el retiro del hormigón figurado, saneado de armadura (en caso de que hallan sido afectadas).

Preparación de la superficie y reconstrucción del elemento, mediante productos de reposición.

En caso que el ataque sea inferior, se sustituye por otro que supla la misma función, si esto no es posible, como es el caso de pilares, se colocara un perfil adosado a cada lado de la pieza que se encargaran de resistir las cargas sobre el elemento estructural, prescindiendo de la resistencia del pilar de hormigón.

Se puede inyectar resina epóxica alrededor de la pieza y colocar luego platabandas de acero que forren todo su perímetro

Para concluir, habrá que definir de forma correcta el alcance de la reparación así como elegir el sistema mas adecuado.

5.2 Protección para hormigón de alto desempeño.

Para evitar la degradación se tienen que tomar en cuenta las siguientes medidas que evitan la introducción de las sustancias desde el exterior hacia el hormigón, así como la no presencia de agentes agresivos en sus componentes:

Evitar hormigones porosos y permeables, para lo cual se deberá cumplir:

Que la relación agua / cemento sea lo mas reducida posible (compatible con la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).

Un alto contenido de cemento.

Compactación y curado adecuado.

Con estas medidas el hormigón resistirá el ataque débil.

Si estas medidas son insuficientes ante el ataque ambiental se utilizará Cementos especiales, resistentes al tipo de ataque que le afecte.

Para hormigones en ambiente marinos se tiene que emplear cementos de bajo contenido de C3A.

Contra el ataque de sulfatos la utilización de cementos con aditivo sulforresistente en morteros y hormigones o la utilización de hormigones de alta resistencia a la compresión simple, por supuesto siempre en zonas expuesta a la acción de sulfatos disueltos.

La incorporación de ceniza volante o puzolana natural, escoria de altos hornos mejora el comportamiento del cemento ante agentes agresivos.

Si el ataque es muy fuerte se deberán aplicar revestimiento especiales que hagan el hormigón mas duradero, evitando el contacto directo del hormigón con agentes químicos.

Para prevenir la agresión química lo ideal es no utilizar agregados potencialmente reactivos según las normas ASTM C- 295.

En caso de especial agresividad, y cuando las medidas normales de protección no se consideran suficiente, se recurre a sistemas especiales de protección para evitar el ataque en el hormigón armado como los siguientes:

Aplicación de revestimientos superficiales con productos específicos para la protección del hormigón (pinturas o revestimientos), con forme a su forma y aplicación.

Protección catódica de las armaduras, mediante ánodos de sacrificio o por corriente impresa.

Protección de las armaduras mediante revestimiento (por ejemplo, armaduras galvanizadas).

Aditivos inhibidores al ataque químico.

Adicionalmente, en caso de preverse que el ataque será muy fuerte, es aconsejable interponer barreras físicas que impidan el contacto entre el medio con sulfatos y el hormigón. Este tipo de barreras puede estar constituido por membranas impermeabilizantes aplicadas sobre la superficie del hormigón, e incluso por pantallas impermeables (p.e. de arcilla) construidas en el suelo circundante a la estructura de hormigón.

6. Conclusiones y recomendaciones.

6.1 Conclusiones.

El proyectar obras que estarán en contacto con sulfatos no es algo fuera de lo común, sobre todo en ciudades como la nuestra que están rodeadas por corrientes de agua tales como los esteros y estuarios. Lo importante será tener todas las precauciones necesarias para que estas no sufran un deterioro que involucre su desempeño estructural y puedan seguir sirviendo para el fin que fueron construidas.

6.2 Recomendaciones.

Una de las condiciones importantes para que el hormigón de alto desempeño sea resistente al ataque de sulfatos es ser lo suficientemente denso, para esto se necesita que tenga una relación agua / materiales cementicios baja, en el orden de 0.20 a 0.40 ya que esto nos garantizará baja permeabilidad.

También es importante tener una buena compactación del mismo con los métodos mecánicos apropiados para el tipo de hormigón que estemos usando.

Un correcto curado también nos ayudará a controlar la permeabilidad.

Es necesario tener una correcta selección de materiales y una correcta dosificación, con estas medidas se garantiza la calidad del hormigón de alto desempeño.

También es necesario darle el recubrimiento necesario a los distintos elementos para de esta manera proteger la armadura.

12. Referencias

[1] HUGO CUNEO SIMIAN, "Hormigón de Alto Desempeño para Estructuras", Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón, Universidad Nacional de Córdova-Argentina.

[2] PONCE de DEMAIO, MARIA BEATRIZ, "La Durabilidad del Hormigón", Intemin Segemar, Buenos Aires-Argentina.

[3] SIKA S.A., "Brevario del Hormigón", Madrid-España.

Ing. Xavier Arce
Director de Tesina