



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN. SU INFLUENCIA EN SU DURABILIDAD.

Prof. DrSc. Ing. Vitervo A. O'Reilly Díaz



Capítulo 1 La dosificación del hormigón.

- 1.1 Definición.
- 1.2 Cualidades que se le exige al hormigón a considerar en el proceso de su dosificación.
 - 1.2.1 Resistencia mecánica.
 - 1.2.2 Consistencia de la mezcla.
 - 1.2.3 Deformaciones del hormigón.

Capítulo 2 La durabilidad del hormigón.

- 2.1 Definición.
- 2.2 De que depende.
- 2.3 Exigencias al hormigón de hoy y del futuro.
- 2.4 Factores de las que depende la durabilidad del hormigón implícitas en su dosificación.
 - 2.4.1 La relación agua – cemento.
 - 2.4.2 La porosidad de la masa de hormigón.
 - 2.4.3 La compacidad del hormigón.
 - 2.4.4 Tipos de cemento
 - 2.4.4.1 Contenido.
 - 2.4.4.2 Finura.

Capítulo 3 Recomendaciones para obtener un hormigón de buena calidad con la dosificación.



Capítulo 1 La dosificación del hormigón.

1.1 Definición:

La dosificación del hormigón de cemento Pórtland es el proceso por el cual, se logran las mejores proporciones de los materiales componentes de este.

Las proporciones óptimas de los materiales componentes del hormigón, podrán expresarse en masa o en volumen, siendo más exacto para las cualidades finales de este, emplear la medición en masa seca de sus materiales constituyente.

El desarrollo y las necesidades han obligado al uso de diferentes tipos de cementos, puros o con adiciones, áridos de diferentes orígenes, naturales o logrado por trituración de rocas, agua a la cual se le añade aditivos con diferentes objetivos a lograr en el hormigón, en estado fresco o endurecido, así como adiciones y pigmentos con fines bien definidos.

Múltiples métodos o procedimientos para dosificar el hormigón se han creado en diferentes países a partir de los planteamientos hechos por Feret en 1892.

Cada investigador ha procurado hacer intervenir en sus ecuaciones o procedimientos, los múltiples factores influyentes en la calidad, en su estado plástico y endurecido de este, partiendo de la relación a/c, calidad del cemento, temperatura ambiente, tipos de áridos, medios tecnológicos de producción etc.

También los investigadores han tenido en cuenta, los factores influyentes del medio en que usaran el hormigón y han condicionado a las cualidades de los materiales componentes disponible, el proporcionamiento de estos.

Hay muchos lugares que han tomado y aplicado métodos elaborados por otros países, cuyos materiales, clima y nivel tecnológico difiere de sus países, generando diferencias substanciales en los resultados técnicos y económicos en los hormigones obtenidos.

La dosificación de una mezcla de hormigón debe tener como principios básicos el proporcional la garantía de la resistencia mecánica de este, en estado endurecido y una adecuada consistencia, docilidad y homogeneidad que permita su laborabilidad en el proceso de colocación.

En el mundo actual se le exige al hormigón no solo las anteriores cualidades, sino el debe ser también durable y no sufrir deformaciones.



1.2 Cualidades que se le exige al hormigón, a considerar en el proceso de su dosificación.

1.2.1 Resistencia mecánica

La resistencia mecánica es el parámetro primero que exigen los usuarios del hormigón, ya que es el que garantiza la estabilidad de la estructura diseñada con este material. Esta se mide mediante probetas cilíndricas normalizadas.

La resistencia a la compresión es la más utilizada para las estructuras en general, mientras que la resistencia a flexión es exigida para pavimentos de hormigón. Este es el parámetro principal para la dosificación del hormigón.

La fabricación de las probetas o especímenes para medir la resistencia a compresión y a flexión se realiza en la mayor parte de los países de América según la Norma C-39-96 de la ASTM para la compresión y por la Norma C-78-94 de la ASTM para la prueba a flexión.

1.2.2 Consistencia de la mezcla

La consistencia del hormigón es la propiedad más significativa de este, en estado fresco y al mismo tiempo, un factor que influye en sus propiedades cuando endurece.

Ella es indicativo de la laborabilidad de las mezclas la que será tomada en cuenta.

- a) la exigencia del proyecto estructural (forma y tamaños de las secciones, cantidad de acero) etc. que exige el proyecto arquitectónico.
- b) los equipos que serán empleados para su colocación en obra (hombres, cubos, bombas, correas transportadoras, carretillas) etc.
- c) la calidad de terminación que exige la superficie del hormigón de la obra.
- d) debe tenerse en cuenta las características climáticas ambientales que rodean la obra (temperatura, viento, intensidad del sol, humedad) etc.

1.2.3 Deformaciones del hormigón

En relación con las *deformaciones* del hormigón, pueden ser generadas por la retracción hidráulica, la cual produce una deformación inicial o inmediata y fundamentalmente las deformaciones lentas, denominadas como fluencia del hormigón.



Estas deformaciones en el hormigón pueden tener efectos muy negativos, al accionar fuerzas por esta razón, sobre otros elementos constructivos eslabonados con la estructura de hormigón deformada (pisos, paredes, escaleras rodantes etc).

Por estos motivos este comportamiento tan negativo, se exige ser tenido en cuenta desde la dosificación del hormigón.

Existen normas y procedimientos para medir las deformaciones en el hormigón.

Capítulo 2 La durabilidad del hormigón.

2.1 Definición.

La capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro, es decir, el hormigón durable retendrá su forma original, su calidad y su servicio, cuando se exponga a su medio ambiente.

Es una de las exigencias más significativa actual en una estructura, pues ella garantiza la VIDA ÚTIL de las construcciones sin la realización de reparaciones capitales, que aumenten el costo de su amortización.

2.2 De que depende

La durabilidad depende de factores propios del hormigón como su porosidad, la relación a/c, el tipo de cemento, la compactación a que fue sometido, el recubrimiento de las armaduras de acero y otros factores.

Depende también de factores externos a que esta sometida la construcción, tales como la humedad relativa, salinidad, lluvias ácidas, la producción intensiva del anhídrido carbónico, la lluvia, así como la naturaleza de las sollicitaciones mecánicas a que son sometidas.

La durabilidad esta considerada como una acción muy compleja que depende de muchos factores, razón por la cual no existe un método unívoco para medirla. No obstante existen especificaciones de exigencias cuya aplicación garantizan una determinada durabilidad de las construcciones, en dependencia del medio climático a que esta sometido, definiendo exigencias de relación agua/cemento, resistencia, consumo de cemento y porosidad del



hormigón, donde lo determinante es definir la *VIDA ÚTIL* de la construcción y de sus elementos estructurales componentes.

2.3 Exigencias al hormigón de hoy y del futuro.

El alto desarrollo alcanzado en las cada vez más exigentes construcciones que se realizan en el mundo, ha llevado a los especialistas a la creación de diferentes tipos de hormigón que satisfagan con su dosificación dichas exigencias, tal es el caso de los hormigones de alta resistencia, hormigones de alto desempeño, hormigones autocompactables, hormigones con alto contenido de puzolana, hormigones sustentables y muchos más.

Pero como expresa el Prof. Paulo Helene, es muy común constatar que ciertos profesionales inseguros relegan sus conocimientos básicos, fundamentales e inmutables de tecnología del hormigón, en busca de recetas nuevas y mágicas que, infelizmente, no siempre dan buenos resultados.

Lamentablemente los hay que, por omisión o ignorancia, no utilizan el hormigón con las propiedades requeridas y comprometen la seguridad, su durabilidad, las deformaciones y el costo futuro de su mantenimiento.

Los estudios de la dosificación del hormigón tienen un alto fundamento científico y tecnológico, los cuales exigen siempre una actividad experimental en el laboratorio y la obra, confiriéndole a este los beneficios que se esperan reporte.

2.4 Factores de las que dependen la durabilidad del hormigón implícitas en la dosificación.

2.4.1 La relación agua cemento.

La relación agua – cemento en la dosificación del hormigón, es un factor influyente no solo en la resistencia de este, sino en la durabilidad futura, pues existe una relación directa entre ella y la porosidad de la pasta de cemento endurecida.

Por múltiples estudios realizados, la mayoría de los investigadores concuerdan que de la cantidad del agua total que se utiliza en el amasado del hormigón, solo el 23 al 25% (en relación al peso del cemento) interviene en la reacción química y es incorporada en los

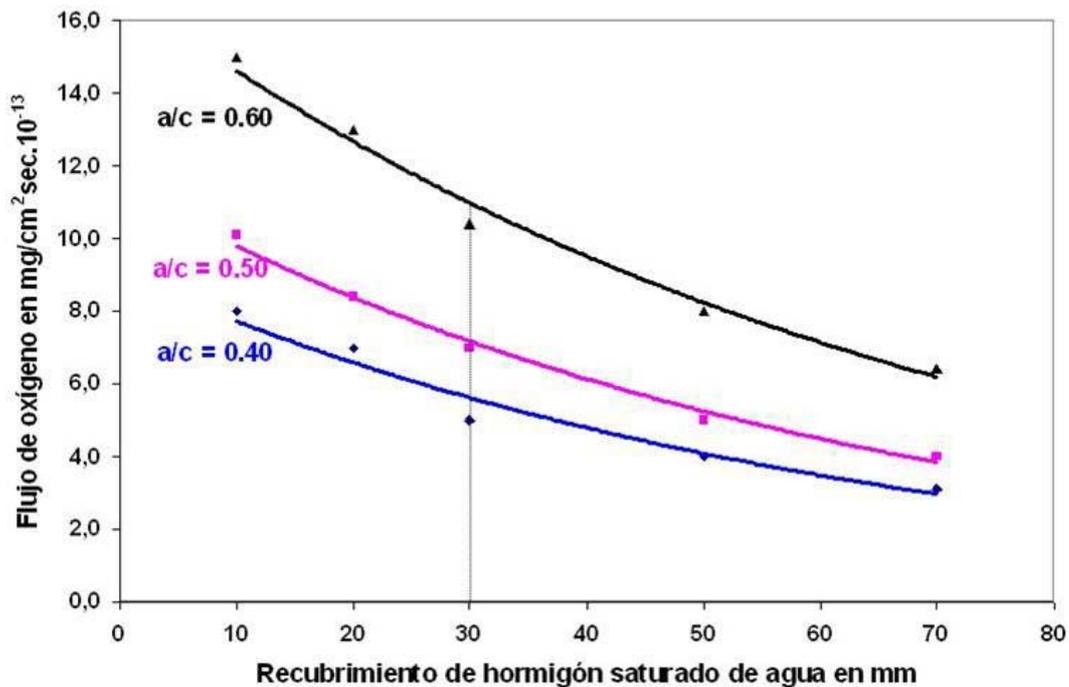
productos de hidratación. Se ha determinado que aproximadamente la cuarta parte del volumen de agua que reacciona químicamente quedara en forma de poros.

Además del agua químicamente incorporada, existe en los poros del gel aproximadamente un 10% de agua absorbida que es difícilmente evaporable.

Por consiguiente se considera que para relaciones a/c mayores a valores entre 0,35 y 0,38 el agua incorporada dará origen a poros capilares.

Lo antes expuesto nos recomienda que resulta necesario diseñar la composición apropiada de la mezcla de hormigón y este debe hacerse con la relación a/c más baja posible, lo que nos permite lograr la máxima compacidad y menor porosidad.

Efecto de la relación agua/cemento y el espesor del hormigón con la cantidad de oxígeno desplazado





2.4.2 La porosidad de la masa de hormigón.

La pasta de cemento hidratada, contiene varios tipos de huecos y poros en el interior de su masa, que tienen una influencia importante en la estructura del hormigón y que lo caracteriza, de acuerdo a sus diferentes formas y tamaño.

La clasificación más universalmente reconocida y las funciones que cada grupo ejerce en el hormigón, es la siguiente:

1. **Porosidad del gel:** es el espacio que existe entre las diferentes laminas que constituyen los silicatos calcicos hidratados. Su volumen total es aproximadamente un 30% del volumen de S-C-H. Este tamaño de poros es muy pequeño para tener efectos adversos en la resistencia y en la permeabilidad de la pasta de cemento hidratada.

2. **Porosidad capilar:** los poros capilares son los espacios no llenados por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratada. Su tamaño varía en función de la relación a/c y su grado de hidratación.

Para relación a/c baja el tamaño esta entre 10 y 50 nm.

Para relación a/c alta y bajo grado de hidratación su tamaño esta entre 300 y 500 nm.

1. **Huecos de aire:** volúmenes de aire, con formas muy regular y próxima a la esférica, como consecuencia del uso de aditivos aireantes. Sus tamaños varían entre 50,000 y 200,000 μm .

2. **Poros generados por el aire atrapado:** son los huecos producidos por el aire atrapado en el interior de la masa de hormigón, que aparecen como consecuencia de un procedimiento deficiente de colocación y compactación de la masa de hormigón. Su tamaño es superior al 1,000,000 nm, o sea, 1mm.

Es muy común encontrar que muchos autores definan los poros en función de su tamaño, no teniendo en cuenta el origen de los mismos.

Clasificándose de la forma siguiente:

a) MICROPOROS: los que tienen tamaño inferiores a 10 nm.

b) MESOPOROS: los que su tamaño están comprendidos entre 10 y 50 nm.



c) MACROPOROS: los que tienen tamaño superiores a 50 nm.

Los Microporos y en parte los Mesoporos serían los que contienen el gel. Este tamaño de poros es muy pequeño para tener efectos adversos en la resistencia y en la permeabilidad de la pasta de cemento hidratada y como se ha expresado, son considerados importantes en la retracción por secado y en el flujo plástico del hormigón.

De 50 nm en adelante se consideran los Macroporos, que serían calificados como poros capilares considerados nocivos para la resistencia, la compactación y la impermeabilidad del hormigón, por cuanto son los que facilitan la penetración de los agentes agresivos externos que acompañando el agua cargada de oxígeno, generan la corrosión en las barras de acero en el hormigón armado.

2.4.3 La Compactación del hormigón.

Es bien conocido que hay una relación directa entre la compactación y la resistencia de los sólidos pétreos y que también existe una relación inversa entre la porosidad y la resistencia, porque la resistencia reside en la parte sólida de un material, por lo que cualquier tipo de hueco es perjudicial a la resistencia.

2.4.4 Tipos de cemento.

Cada uno de los productos originados por la hidratación tiene su porosidad propia.

En función de la composición del cemento, la hidratación generará una porosidad de los nuevos productos acordes a su propia dinámica de formación.

Por tanto, el tipo de cemento podrá tener su repercusión en la microestructura a igualdad de grado de hidratación, si bien **NO** en aquellos tamaños de poros que son más determinantes en la durabilidad.

Durante el proceso de hidratación de los cementos Pórtland, estos liberan del 15 al 30% de Hidróxido de Calcio (Portlandita) del peso del cemento original. Usualmente esto resulta suficiente para mantener una solución en un valor de pH de aproximadamente 13 en el hormigón, independientemente del contenido de humedad.

Varios tipos de cemento mezclados, por ejemplo cemento Pórtland de escorias, o cementos puzolánicos no pueden recomendarse generalmente para este tipo de condiciones de



servicios de estructuras reforzadas, debido a la escasez de Hidróxido de Calcio liberado y a una alcalinidad insuficiente en el hormigón endurecido que provoca a menudo solo un valor de pH por debajo de 8.

Es recomendable hacer los estudios correspondientes de la alcalinidad que aportara el cemento a la masa de hormigón.

2.4.4.1 Contenido de cemento.

La cantidad de cemento genera una producción de pasta hidratada que proporciona la reserva alcalina. Esta, facilita la compensación del posible proceso de acidificación de la fase acuosa, por ejemplo la carbonatación.

2.4.4.2 Finura del cemento.

La finura será un factor influyente en tanto no se consiga un grado considerable de hidratación.

2.5 Los aditivos químicos.

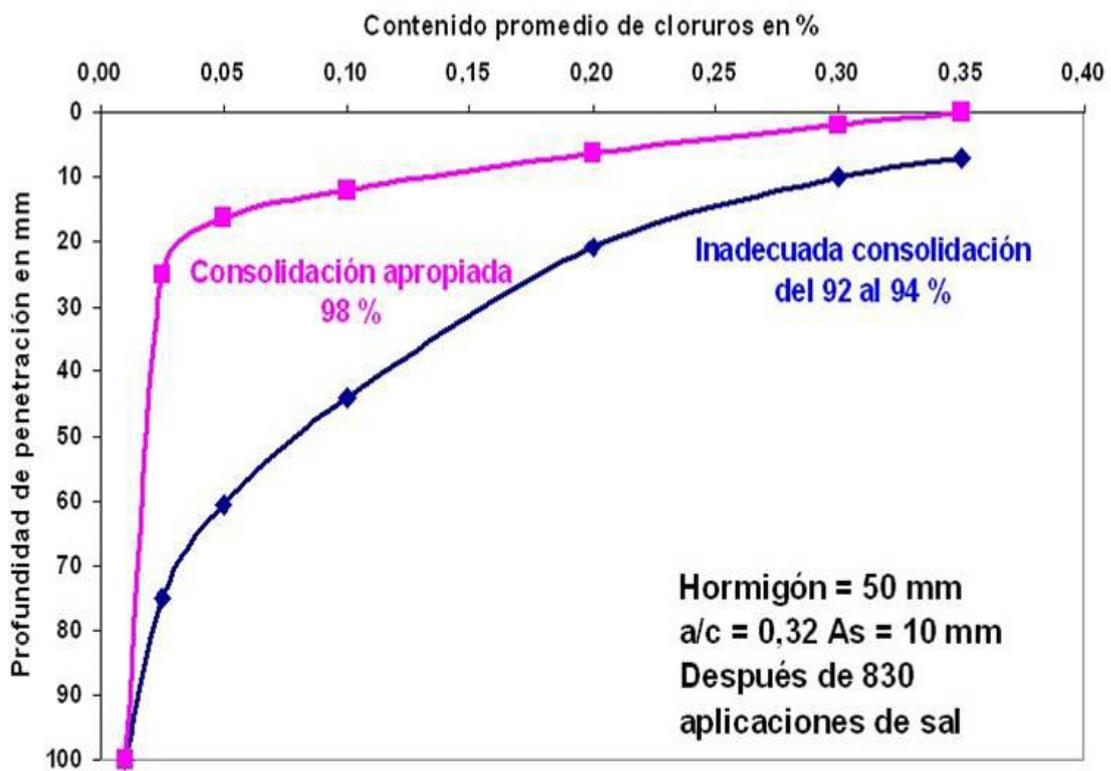
El empleo de aditivos químicos plastificantes, evita el agrupamiento flocular de las partículas de cemento, aumentando la superficie específica efectiva de reacción en contacto con el agua. Esto genera un mayor desarrollo de los procesos de hidratación y por lo tanto, se refina la red microporosa.

El uso de aditivos reductores de agua posibilita, para una misma laborabilidad, el empleo de relaciones agua/cemento más bajas para lograr la misma laborabilidad.

La finura será un factor influyente en tanto no se consiga un grado considerable de hidratación.

2.6 Influencia de la compactación.

Efecto de la insuficiente consolidación con la proporción y la profundidad de penetración de los iones cloruro





Capítulo 3 Recomendaciones para obtener un hormigón de buena calidad con la dosificación.

1. Utilizar un método de dosificación que garantice:

Absorción Capilar

Para espesor de recubrimiento de 30 mm en ambientes severos se recomiendan hormigones con sorción capilar $S \leq 3 \text{ mm} / h^{1/2}$ ($5.10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$); en medios menos severos puede ser hasta de $6 \text{ mm}/h^{1/2}$ ($10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$). Si el espesor de la cubierta se incrementa, la sorción capilar puede modificarse proporcionalmente.

Porcentaje de Porosidad

$\leq 10\%$ Indica un hormigón de buena calidad y compacidad.

10% - 15% Indica un hormigón de moderada calidad.

$> 15\%$ Indica un hormigón de durabilidad inadecuada.

2. Usos de aditivos químicos

Se debe usar plastificante o superplastificante en cantidades que nos permitan disminuir la relación a/c al máximo posible, pero que el hormigón mantenga una consistencia plástica que permita ser vibrado para lograr su máxima compacidad, sin disgregarse.

3. Empleo de cementos que garanticen el pH óptimo

4. Tamaño del árido

Usar el tamaño del agregado grueso en dependencia de la separación de las barras de acero del elemento estructural, que permita que el recubrimiento de dichas barras este constituido por masa de hormigón y no por el mortero de esta, el cual resulta muy permeable.