



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“HORMIGONADO EN TIEMPO FRIO”

Tesis para optar al título de:

Constructor Civil

Profesor Patrocinante:

Sr. José Arrey Díaz

**RODRIGO CRISTIAN LEGAL CASTRO
VALDIVIA-CHILE
2005**

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos.

- Janette Castro Henríquez.
- Y a la memoria de Alfonso Legal Ríos.
- Francisca, Alfonso, Marlene, Sandra.

La humildad es virtud que tiene la sabiduría para reconocer el verdadero amor.

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer toda una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo. Hoy finalizando una etapa más en mi vida. Agradezco humildemente todos los esfuerzos que realizaron, en los momentos más difíciles y más felices a lo largo de mi carrera.

La cual, constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. Con admiración, respeto y la promesa de seguir siempre adelante.

Por esto y más....gracias..!

APPRECIATION

To my parents and brothers

Humility is virtue that has wisdom to recognize the true love.

Knowing that a form will not exist to thank for all a life, of fight, sacrifice and effort. Today finalizing one more a stage in my life, I humbly thank for all the efforts that attain, at the difficult and happier momen throughout my profession.

Which constitutes the most valuable inheritance that it could receive. With admiration, respect and the promise to follow always ahead.

By this and more... Thanks!

Rodrigo Legal Castro

Resumen.

Esta tesis consiste en un estudio de la elaboración, transporte y protección, que deberían tener, antes de colocar y después de colocar el hormigón en tiempo frío y también la duración del periodo de curado que deberían tener estos hormigones. A demás las lesiones típicas causadas por las bajas temperaturas.

Summary.

This thesis consists of a study of the elaboration, transports and protection, that must have, before placing and after also placing the concrete in cold weater and the duration of the cured period of that must have these concretes. To others the damages caused by the low temperatures.

Índice

Capítulo I Introducción.

Introducción. Pág.1

Objetivos Pág.3

Capítulo II Definición y referencia a las normas.

2.1 Definición de tiempo frío. Pág.5

2.2 Referencia a la norma. Pág.6

Capítulo III Elaboración del hormigón.

3.1 Elección del material. Pág.7

3.2 Aditivos. Pág.9

3.3 Preparación de la mezcla. Pág.25

3.4 Calculo de la temperatura de la mezcla. Pág.29

Capítulo IV Colocación del hormigón.

4.1 Protección y cuidados antes de la colocación. Pág.36

4.2 Cierros utilizados como protección. Pág.39

4.3 Usos de calentadores. Pág.41

Capítulo V Protección para el hormigón.

5.1 Periodos de protección. Pág.44

5.2 Moldajes. Pág.47

5.3 Determinar la resistencia. Pág.55

5.4 Obtención de la resistencia de diseño. Pág.61

5.5 Incremento en las resistencias tempranas. Pág.61

Capítulo VI Curado.

6.1 Generalidades. Pág.62

6.2 Periodo de curado. Pág.63

6.3 Métodos de curado. Pág.63

6.4 Precauciones y protecciones durante el periodo del curado. Pág.65

6.5	Materiales de Protección	Pág.66
Capitulo VII Lesiones típicas en el hormigonado en tiempo frío.		
7.1	Generalidades.	Pág.71
7.2	Elaboración.	Pág.71
7.3	Colocación y curado del hormigón.	Pág.72.
Capitulo VIII Pruebas de temperaturas iniciales a pastas de cemento.		
8.1	Introducción	Pág.86
8.2	Objetivos	Pág.86
8.3	Materiales	Pág.86
8.4	Desarrollo	Pág.87
8.5	Conclusiones	Pág.92
Capitulo IX Conclusiones.		Pág.95.
Bibliografía		Pág.99.

Capítulo 1.

Introducción

. El concepto “hormigonado en tiempo frío” tratado en esta tesis se debe comprender como el proceso completo de un hormigón que va, desde su elaboración, hasta su puesta en los moldajes, y retiro de estos mismo. Pasando por los cuidados que se deben tener con este tipo de hormigones especiales antes de su colocación y el tiempo de curado que se le debe entregar.

En consiguiente, el tema será enfocado para cualquier clase de obra, es decir, pavimentación, edificación, etc., ahora también debe entenderse, que los hormigones en tiempo frío tienen características especiales, en el sentido de las condiciones climáticas, que por lo demás es el único factor en cual se diferencia con los hormigones convencionales y por ellos su fabricación no es diferente a los hormigones bajo condiciones climáticas normales.

Ahora, bajo que condiciones se entiende que un hormigón se esta elaborando, transportando y colocando en tiempo frío, para esto nos remitiremos a las normas NCh170of85, ACI306-1. de acuerdo a lo anterior, la NCh170of85 define “hormigonado en tiempo frío” es “cuando en los siete días previos al hormigonado haya uno o más días con temperatura media inferior a 5°C”, por lo demás, debe entenderse como temperatura media, a la temperatura promedio entre la temperatura mínima y la temperatura máxima dentro de un periodo de 24horas. En consiguiente, ACI306-88 “COLD WATER CONCRETING” define tiempo frío “como un periodo donde, por más de 3 días consecutivos existen las siguientes condiciones; 1) la temperatura promedio diaria del aire es

menor a 5°C y 2) la temperatura del aire no es mayor a 10°C durante más de la mitad de un periodo cualquiera de 24 horas”. En consecuencia, se plantearan dos posibles escenarios y que nos servirán como base de referencia para el desarrollo de esta tesis, siendo el primero de ellos, cuando la temperatura ambiente se encuentre entre 5°C y 10°C, no hay nieve, ni escarcha, pero si la temperatura de igual forma afecta al hormigón y el otro escenario será, cuando la temperatura se encuentra bajo los 0°C y más, además con presencia de bastante nieve haciendo el escenario más desfavorable para el hormigón y donde la forma de enfrentar el problema es distinto al escenario señalado primeramente.

A demás, se realizara en la parte práctica una evaluación a las temperaturas generadas por pasta de cemento, para poder comparar el calor de hidratación generado por la reacción del cemento y agua, con dos tipos de cemento, el primero portland y el segundo un cemento de alta resistencia.

Sin perjuicio de lo anterior, se omitirá colocar información referente a los ensayos que se realicen a los hormigones que se fabrican y se colocan fuera de las temperaturas señaladas, debido a que, estos hormigones son elaborados en condiciones climáticas normales y por lo demás sería redundar en el tema de los hormigones, debido a que, existe bastante información en cuanto a su fabricación y los ensayos que deben realizarse.

Objetivos.

Hormigonado en tiempo frío, el objetivo que busco al desarrollar este tema, consiste principalmente en formar un criterio con el cual, se pueda desarrollar en forma exitosa la elaboración, transporte, colocación y curado del hormigón bajo los dos posible escenario señalado en la introducción, y para ellos usare como referencia teórica las normas NCh170of85 y ACI306-88 e información obtenida a través del “instituto chileno del hormigón” y el “instituto mexicano del cemento y del concreto” y por ultimo “cement asocciation of canada”. Y en la parte practica información entregada por profesionales que han desarrollado trabajos en las zonas de porvenir y en la minera de “Inés de Collahuasi y la experiencia particular en la construcción de casas en sectores cercanos a la cordillera en la zona central.

En consiguiente, también se realizará un prueba de temperatura a pastas de cemento, donde se evaluaran las temperaturas de cuatro muestras de pasta de cemento, en donde se averiguara sí el cemento de alta resistencia en conjunto con un aditivo acelerador tendrá una mayor temperatura que las otras tres muestras anteriores y si realmente será necesario su utilización en un hormigonado en tiempo frío

Capítulo II: Definición y referencia a las normas

Capítulo 2.

2.1 Definición de tiempo frío.

Según la NCh 170 of 85, en la sección 10.4.1 nos indica: “Cuando en los siete días previos al hormigonado haya uno o más días con temperatura media inferior a 5°C”.

Según la norma ACI306-1, cold weather, en la sección 1.2 definiciones indica: “un periodo donde, por mas de 3 días consecutivos existen las siguientes condiciones: la temperatura promedio diaria del aire es menor a 5°C; la temperatura del aire no es mayor a 10°C durante más de la mitad de un periodo cualquiera de 24 horas.”

Nota. La temperatura media del aire, será la temperatura determinada por el promedio entre la temperatura máxima y la temperatura mínima que ocurran durante un periodo comprendido entre dos medias noches.

2.2 Referencia a las normativas vigentes.

Al hablar sobre las normas que regulan este tema, solo puedo referirme a la norma ACI306-1, debido a que, sobre está están basadas las demás normas de los países americanos, o es posiblemente la que más detalla sobre el tema, porque se recopilan probablemente todos los estudios desarrollados en base a la confrontación del hormigón al clima frío, y así se demuestran las normativas o códigos de los países como por ejemplo es el caso de México que a través de su instituto del cemento y del concreto de México, y también es el caso de Canadá a través de su “Cement Association of Canada”.

Los principales objetivos de estas normas son las de evitar los daños al hormigón; ocasionados por el congelamiento en las etapas tempranas; problemas por el grado de saturación del hormigón recién colocado, el cual disminuye conforme el hormigón gana madurez y donde, el agua de mezclado se combina con el cemento durante la hidratación. Bajo tales condiciones, el grado de saturación cae a un nivel crítico donde un ciclo de hielo/deshielo le causaría daño. En consecuencia, se debe asegurar que el hormigón desarrolle la resistencia requerida para poder retirar los moldajes, puntales, y así tener la seguridad de poder cargar la estructura durante y después de la construcción.

Además, se debe mantener las condiciones de curado que protejan el desarrollo normal de la resistencia sin usar calor excesivo y sin ocasionar una saturación crítica del hormigón al final del periodo de protección

Por lo tanto, se deben limitar los cambios de temperaturas rápidos, especialmente antes de que el hormigón haya desarrollado la resistencia suficiente como para soportar los esfuerzos térmicos inducidos. Enfriamientos rápidos en la superficie o diferenciales de temperaturas importantes entre la superficie y el núcleo del hormigón pueden ocasionar agrietamiento. El curado u otros medios de protección deben retirarse gradualmente de forma que la temperatura de la superficie disminuya gradualmente durante un periodo de 24 horas.

Capítulo 3.

3.0 Elaboración del hormigón.

3.1 Elección del material.

3.1.1 Áridos.

El material pétreo ocupa más o menos el 80% del volumen del hormigón de cemento y sus finalidades son las de colaborar en la neutralización de las tensiones internas que se originan en la contracción de la pasta. El árido para su integración en el hormigón, debe cumplir ciertas condiciones, como por ejemplo. Las condiciones de trabajabilidad (condiciones de granulometría, contenido de granos finos, etc.), condiciones de resistencia propia (resistencia a la abrasión, partículas blandas, etc.) y por último condiciones de estabilidad físico-químico. (inalterabilidad ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado de la pasta, ciclos alternados de temperatura y humedad. Especialmente ciclos alternados de temperatura bajo y sobre cero, etc.), por lo tanto la elección del material esta condicionada a las características que se desea entregar a la fabricación del hormigón y es recomendable que presenten una baja absorción de los áridos.

3.1.2 Cemento.

Existiendo distintas clases de cemento, en Chile los cementos se clasifican en:

- 1) Cementos PORTLAND, si están compuestos por clínker y un bajo porcentaje de yeso.
- 2) Cementos SIDERURGICOS, compuestos de clínker más

escoria básica granulada de alto horno y yeso:

a) Cementos Pórtland Siderúrgicos: Si el porcentaje de escoria granulada de alto horno es inferior al 30%.

b) Cementos Siderúrgicos: si el porcentaje de escoria granulada de alto horno está presente en porcentajes comprendidos entre 30 y 75 %.

3) Cementos PUZOLANICOS, compuestos por clínker, puzolana y yeso.

a) Cemento Pórtland Puzolánico: si el porcentaje de puzolana es inferior a 30 %.

b) Cementos Puzolánicos: si el porcentaje de puzolana está entre 30 y 50 %.

La condicionante esta dada por el requerimiento planteado en el diseño del hormigón, es decir, no se precisa de un cemento con características especiales para la elaboración de hormigones al igual que los materiales utilizados. Pero, el tipo de cemento usado en la elaboración del hormigón influirá en el periodo de protección, como por ejemplo: si se utiliza un cemento de grado de alta resistencia, en comparación con un cemento Pórtland de grado corriente. El primero alcanzara la resistencia de diseño en menor tiempo que el segundo, y por lo tanto, el periodo de protección será menor con respecto al cemento Pórtland de grado corriente.

3.1.3 Agua.

Desempeña dos roles en su calidad de componente del hormigón. Participa en el proceso de hidratación del cemento, el cual no puede tener lugar sin su presencia y además, otorga trabajabilidad necesaria al hormigón siendo determinante para

definir su fluidez. En consecuencia, para su incorporación en el hormigón, el agua debe presentar ciertas características de calidad las cuales aparecen definidas en NCh 1498 y son las siguientes: El uso del agua potable está permitido sin controlar su calidad; el agua de mar sólo puede utilizarse en la preparación de hormigones de resistencia especificadas a 150 kg/cm^2 ; el agua con contenido de azúcares, en las formas de sacarosa o glucosa, no puede ser empleada en la confección de hormigones, y por último, las aguas de orígenes desconocidos deben ser sometidas a análisis químicos, debiendo atenerse su composición a los límites señalados en la tabla 2.8 “requisitos químicos del agua” según NCh 1498.

3.2 Aditivos.

Son productos introducidos en el hormigón, que permiten modificar las propiedades en forma controlada, aun cuando los aditivos son componentes eventuales en el hormigón, existen momentos o condiciones donde su uso es imprescindible.

De esta manera su uso estará condicionado por: Que se obtenga el resultado deseado sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica; que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del hormigón; y que un análisis de costo justifique su empleo.

El uso de este componente, en la fabricación de hormigón, para un hormigonado en tiempo frío, requiere de al menos dos tipos de aditivos, los cuales son los siguientes.

3.2.1 Incorporador de aire.

Es un producto que nació de una experiencia imprevista, donde en 1932 se observó en los Estados Unidos que algunos tramos de una carretera resistían mejor el efecto del hielo que otros. Al analizar un trozo de hormigón, se pudieron percatar que, este contenía una gran cantidad de micro burbujas de aire, determinándose que había sido confeccionado con cemento procedente de fábricas que usaban en la molienda aditivos a base de aceite vegetal o de jabón. En consecuencia, hizo resaltar el efecto del aire incorporado sobre la resistencia del hormigón a los procesos de hielo-deshielo, lo que fue confirmado por experiencias posteriores.

El hormigón, además de sus componentes sólidos, también contiene burbujas de diferentes formas y dimensiones variadas, proveniente del aire atrapado y fracción de agua de amasado que se evapora. En cambio, al utilizar un Incorporador de aire se producen micro burbujas esféricas cuyos diámetros oscilan entre 25 y 250 μ con una distancia entre ellos de 100 a 200 μ . Entonces, para otorgar resistencia a las heladas interesa particularmente que las burbujas sean pequeñas. La pasta de cemento está protegida contra los efectos del hielo / deshielo, si el factor de distancia es menor a 0,20mm.

El mecanismo de acción del Incorporador de aire funciona durante el amasado del hormigón, donde se forman burbujas de diferentes tamaños, debidos a los movimientos internos de los materiales del hormigón. Un hormigón convencional, sin aditivos, prácticamente no puede contener burbujas inferiores a 0,1 y 0,2

mm. puesta que estas se disuelven en el agua. Al introducir Incorporador de aire, en una pasta de cemento, quedan adsorbidos sobre la superficie de las partículas de cemento formando una delgada capa de filamento de naturaleza hidrófoba (repulsión al agua), orientados desde la superficie de estas últimas hacia la fase acuosa entre los granos sólidos y con su fase polar adherida a la superficie de los granos de cemento.

La cantidad y característica de aire incorporado depende de numerosos factores, como tipo y cantidad de aditivo, tipo y dosis de cemento y docilidad del hormigón.

La cantidad de aire y tamaño de las burbujas de aire incorporado aumentan con la mayor fluidez del hormigón. En relación con este último aspecto, pueden señalarse los siguientes valores.

RAZÓN AGUA / CEMENTO	TAMAÑOS DE LAS BURBUJAS
0.35	10 - 100 μ
0.55	20 - 200 μ
0.75	50 - 500 μ

Cuadro 3.1, Relación entre la razón agua /cemento y el tamaño de las burbujas

Las características del hormigón también inciden en la cantidad de aire incorporado. Entre ellas pueden mencionarse

- a) Proporción de mortero en el hormigón.

- b) Tamaño máximo del árido grueso.
- c) Contenido de granos finos entre 0,2 y 0,8 mm.

Las condiciones más influyentes en la cantidad de aire incorporado son

- a) Tiempo de amasado: Un amasado muy prolongado hace perder parte del aire, el remanente es de un diámetro más pequeño puesto que las burbujas más grandes son más inestables, tendiendo a romperse o a salir a la superficie
- b) Condiciones de transporte: Mientras más trepidaciones y trasposos experimenta el hormigón en su transporte mayor es la cantidad de aire perdido.
- c) Condiciones de compactación: Una cierta cantidad de aire puede perderse por efecto de la compactación si su energía es muy elevada y el tiempo de vibración prolongado, especialmente si la docilidad del hormigón es alta.

Por las razones expuestas, la cantidad de aire incorporado debe controlarse sistemáticamente, a través del Método Gravímetro, normalizado en NCh 1564. *“Hormigón, determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco”* y en el hormigón endurecido, el contenido de aire, distancia entre burbujas y otros parámetros pueden ser determinados mediante observación microscópica efectuada según ASTM C-457.

Solamente para determinar el contenido de aire en el hormigón fresco, detallado en la Nch1564of79 se procederá a señalar en esta tesis, “Calcular el contenido de aire del hormigón fresco de acuerdo con una de las formulas siguientes, aproximando

al 1%:

$$A = \frac{V_a - V_r}{V_a} \times 100$$

En que:

A = contenido aproximado del aire del hormigón fresco, %;

V_a = volumen aparente del hormigón fresco elaborado en cada amasada, m³;

V_r = volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada, m³, calculado según la formula:

$$V_r = V_{rc} + V_{ra} + V_{rg} + V_w$$

En que:

V_{rc} , V_{ra} , V_{rg} , V_w son los volúmenes reales de todos los materiales incorporados a la amasada.

O bien.

$$A = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r}$$

En que:

ρ_a = densidad aparente del hormigón fresco, Kg/m³;

ρ_r = densidad real del hormigón fresco, Kg/m³, calculada según la formula.

$$\rho_r = \frac{M_c + M_a + M_g + M_w}{V_r}$$

NOTAS.

- 1) El volumen real de cada material corresponde a su masa dividida por su densidad real.
- 2) Para los áridos se debe determinar la masa y la densidad real en condición de saturados superficialmente secos, de acuerdo con NCh1116 y NCh1117.
- 3) Para el cemento se debe determinar la densidad real según NCh154.
- 4) La densidad real del hormigón fresco es una determinación de laboratorio, cuyo valor se estima constante para todas las amasadas elaboradas con los mismos materiales y la misma dosificación.

El efecto que se produce con la incorporación de micro burbujas es el aumento de la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo, que se pueden producirse en los periodos en que la temperatura ambiente desciende bajo 0°C, caso en el cual su empleo debe considerarse imprescindible.

Sin embargo, la incorporación de aire tiene otros efectos secundarios de importancia, como por ejemplo, que las burbujas de aire incorporado en el hormigón actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Ello permite reducir las presiones hidráulicas y, con ello, las tensiones internas que se originan por este motivo, impidiendo así el deterioro progresivo que se produciría en un hormigón que no contenga aire incorporado.

En consecuencia, para que se induzca el mecanismo protector, las burbujas de aire no deben estar saturadas de humedad, lo cual se logra al emplear compuesto aniónicos, los cuales actúan produciendo filamentos hidrófobos. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la eficacia de un aditivo Incorporador de aire, depende tanto de, la cantidad total de aire incorporado, como del tamaño y distancia entre burbujas, siendo más efectivo mientras más pequeñas sean y a menor distancia se encuentren.

En relación con lo anterior, la experiencia practica, evaluada por el centro tecnológico del hormigón, indica que, para asegurar la protección de hormigones expuestos a ciclos de hielo-deshielo, deberá incorporarse del orden de 3% a 6% de aire según el tamaño máximo del árido

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Contenido de aire (%)
10	6,0
12	5,5
20	5,0
25	4,5
45	4,5
50	4,0

Cuadro 3.2, Contenido de aire recomendado para el hormigón expuesto a ciclos de hielo-deshielo, según NCh170of85

NOTAS:

- 1.- En los hormigones de grado superior a H 35, el contenido de aire se puede reducir en un punto porcentual.
- 2.- las cifras indicadas tienen una tolerancia de $\pm 1,5$ puntos porcentuales.

Además, las burbujas de aire formadas en el hormigón fresco actúan al mismo tiempo como un fluido, aumentando su docilidad, y son inertes, ya que, por su tamaño, equivalen a partículas de tamaño inferior a 2 Mm., con la ventaja de tener de coeficiente de forma, ser elástico y deformable, lo que permite deslizarse sin rozamiento.

Por otra parte, en el hormigón endurecido, las microburbujas producidas por el aditivo incorporador de aire se interponen en la red de canalículos interna que existe en todo hormigón, lo cual permite limitar la ascensión de agua por capilaridad. El hormigón resultante es, en consecuencia, más impermeable e, indirectamente por ello más resistente a la acción de agentes agresivos

ADITIVO Y DOSIS USUAL	PROPIEDAD QUE CONFIERE AL HORMIGÓN	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
Incorporador de Aire 0.03% a 0.05% del peso del cemento	Incorpora micro poros al hormigón produciendo: Resistencia al hielo-deshielo. Mayor docilidad Menor permeabilidad Eventual exudación	Protección al hielo-deshielo. Pavimentos. Protección contra agentes químicos.	Menor resistencia mecánica

Cuadro 3.3, Resumen de la aplicación de los incorporadores de aire en el hormigón entregada por el libro ADITIVOS del Instituto del cemento y del hormigón de Chile.

Nota: siempre deben respetarse las indicaciones de los fabricantes de los aditivos.

3.2.2 Aceleradores o acelerantes.

Son productos que favorecen la disolución de los constituyentes anhidros del cemento, su disolución o velocidad de hidratación se debe al cloruro de calcio que es el acelerante por excelencia, sin embargo, también actúan como acelerantes el cloruro sódico, amónico, y férrico.

Con el cloruro de calcio el tiempo de iniciación del fraguado puede reducirse a menos de la mitad del normal. Al ser mayor la velocidad de desprendimiento de calor en las primeras horas del hormigón, este acelerante permite el hormigonado en tiempo frío, debido a que, el calor desprendido contrarresta en parte el frío exterior.

Las ventajas que otorga este aditivo al hormigón son; que el cloruro de calcio mejora la docilidad de los hormigones y aumenta su compacidad, no alterando la resistencia final del mismo y no produciendo regresión de ellas, como ocurre con otros cloruros.

Este aditivo tiene la inconveniente de que puede dar lugar a eflorescencia y corrosión de las armaduras, especialmente si el hormigón se encuentra en ambiente húmedo, puede emplearse con cualquier cemento portland pero no con morteros de cal o con cemento aluminoso.

El cloruro de sodio tiene un comportamiento similar al de calcio aunque más moderado en el calor de hidratación. Se han observado pérdidas en resistencia en los hormigones en los que se ha utilizado y esto ha motivado el que se prescindiera de su empleo.

Actualmente se está utilizando mucho los acelerantes a base de aluminato de sodio por su gran eficacia y carencia de efectos

secundarios; sin embargo, cuando el hormigón vaya a estar en contacto con terrenos ricos en sulfatos hay que tener en cuenta que la cantidad de aluminato será, en este caso, la suma que contiene el cemento más el que contiene el aditivo.

Generalmente los acelerantes clásicos producen altas resistencia a edades cortas, pero las resistencias pueden disminuir a edades mayores. Actualmente se han desarrollado acelerante ecológicos, libres de álcalis, a base de sales orgánicas en los que no se dan estas disminuciones de resistencia a largo plazo.

Los acelerantes pueden ir asociados con otros aditivos formando combinaciones binarias con hidrófugos, plastificantes, aireantes, etc.

Dada la influencia que la temperatura tiene en las reacciones químicas se comprende la importancia que esta tiene en la eficacia de dichos aditivos.

Los acelerantes encuentran su principal aplicación en la prefabricación del hormigón en tiempo frío al permitir los desencofrados rápidos, cuando se requiere reducir el tiempo de curado, para disminuir las presiones sobre los encofrados, obturación de escapes de agua a través de fisuras, trabajos en túneles y galerías con paredes húmedas, en trabajos marítimos entre dos mareas, en hormigones y morteros proyectados, etc.

A continuación el cuadro nº4 resume las propiedades y aplicaciones de los aceleradores o acelerantes

ADITIVO Y DOSIS USUAL	PROPIEDAD QUE CONFIERE AL HORMIGÓN	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
<p>Aceleradores de fraguado</p> <p>Hormigón no armado 1:2 a 15 (aditivo:agua)</p> <p>Hormigón Armado Máx. 1:6 (aditivo:agua) medidas en peso</p>	<p>Aumentan las resistencias iniciales.</p>	<p>Hormigonado en tiempo frío.</p> <p>Hormigón proyectado.</p> <p>Hormigones prefabricados.</p> <p>Reducción plazo desmolde.</p> <p>Reparaciones.</p>	<p>Usualmente contienen productos corrosivos, por lo que en el hormigón armado deben extremarse las precauciones.</p>

Cuadro 3.4, Resumen de la aplicación de los Aceleradores de fraguado en el hormigón entregada por el libro ADITIVOS del Instituto del cemento y del hormigón de Chile.

3.2.3 Plastificantes y superplastificantes.

Corresponden a una nueva generación de aditivos plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, constituyendo una evolución de los aditivos reductores de agua, que en la adsorción y capacidad de dispersión del cemento es mucho más acentuada.

Los efectos principales que se derivan de la incorporación de algún componente tensoactivo son por una parte la ionización de los filamentos del aditivo que produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva desfloculización, y, por otra parte, las moléculas de aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas.

Para entender mejor el funcionamiento de estos aditivos se hace preciso recordar el comportamiento agua-cemento en el proceso de mezclado y fraguado del hormigón. Como sabemos,

primero se forma la pasta aglutinante producto de la lubricación de las partículas de cemento y de árido tras la adsorción del agua, y luego esta pasta se vuelve cementante producto de la reacción química que se lleva a cabo entre ambas al iniciarse el fraguado.

En la primera de estas etapas es cuando se produce la mezcla de los componentes y las primeras reacciones electroquímicas entre agua y cemento, apareciendo las características del hormigón fresco como trabajabilidad, docilidad, consistencia, etc.

Estas características están gobernadas principalmente por las reacciones electroquímicas producidas entre las moléculas de agua y los granos de cemento, los que poseen un gran número de iones en disolución en su superficie. Estos iones tienden a formar, debido a una afinidad electrostática, flóculos o capas de solvatación al entrar en contacto con el agua durante la operación de amasado. Dichos flóculos ejercen dos efectos nocivos en la masa de hormigón.

- Impiden la dispersión uniforme de las partículas de cemento en la masa de hormigón.

- Retienen cierta cantidad de agua en el interior de su masa que incide negativamente en la porosidad final del material por no ser utilizable para lubricar la masa ni para la lubricación de los granos de cemento.

Los efectos nocivos de la floculación pueden ser contrarrestados, al menos en parte, mediante la incorporación a la masa de hormigón de ciertos compuestos químicos tales como policondensados de naftaleno y formaldehído, también llamados

superplastificantes, reductores de agua de alto rango o superfluidificantes.

Estas adiciones actúan neutralizando las cargas eléctricas que se encuentran sobre la superficie de las partículas de cemento y, por consiguiente, evitando la formación de flóculos. La forma lineal y alargada de estas moléculas orgánicas les permite recubrir por completo la superficie de los granos de cemento incorporándole cargas de signo negativo, provocando una fuerza de repulsión entre las partículas de cemento dificultando el fenómeno de la floculación.

Sin embargo como consecuencia del efecto envolvente de estas moléculas puede ocurrir que, en altas dosis se produzca un efecto de retardo de la hidratación de los granos.

En el modo de acción de los superplastificantes pueden considerarse tres etapas consecutivas:

Adsorción de los polímeros por parte de las partículas de cemento en la etapa de transición sólido-líquido.

Carga de la superficie de los granos con fuerzas electroestáticas de repulsión por tener el mismo signo.

Aparición de tensiones superficiales que aumentan la distancia entre partículas.

Nota: siempre deben respetar las indicaciones de los fabricantes de los aditivos

La empresa SIKA. Tiene una solución que contiene los aditivos antes mencionado, más un aditivo fluidificante o plastificante, que su descripción esta inserta en el manual de empleo del producto, entregado por la empresa SIKA denominado

como “FRIOLITE-^oC®” y que se da a conocer a continuación, existiendo además otros productos que se encuentran en el mercado de los aditivos:

“Anticongelante para hormigón de gran calidad, para hormigonado a temperaturas extremas.

Nota: Los anticongelantes son productos solubles, análogos a los acelerantes, que activan la hidratación del cemento. Ello permite obtener desprendimiento más rápido del calor de hidratación del cemento, aumentando así en algunos grados la temperatura del hormigón durante el amasado.

Por otra parte, rebajan la temperatura de congelación del agua del hormigón.

Estos efectos combinados permiten que el hormigón se endurezca antes que se produzca congelamiento por efectos de las bajas temperaturas durante el hormigonado en tiempo frío.

Descripción

El FRIOLITE-^oC es un aditivo para hormigón que permite la fabricación en invierno de un hormigón de gran calidad cuando se temen fríos intensos, heladas o temperaturas bajas extremas. Está exento de cloruros. Se presenta en forma de polvo y de líquido.

Usos.

FRIOLITE-^oC es un aditivo anticongelante que se utiliza para proteger el hormigón que pueda estar expuesto a temperaturas ambientales de hasta -10°C/-12°C.

Conviene para todo tipo de hormigón: en masa, armado,

pretensado, suelos de calefacción.

Construcciones de elementos finos y muy armados y en hormigones estancos de calidad.

Ventajas

El FRIOLITE -oC reúne en un solo producto las ventajas de sus tres componentes:

- Un anticongelante que permite el fraguado y el endurecimiento del hormigón a baja temperatura.
- Un fluidificante que reduce al máximo el agua de amasado y hace al hormigón más manejable.
- Un aireante que ocluye microburbujas en la masa mejorando la resistencia del hormigón, una vez endurecido, a los ciclos de hielo-deshielo.

Además de la protección contra la acción de las heladas, el hormigón endurecido es más impermeable y duradero, presenta mayor resistencia a los ciclos de hielo y deshielo, así como una considerable resistencia contra la influencia de la sal de deshielo.

Datos Técnicos

Tipo: Polvo: aluminatos reactivos

Líquido: nitratos modificados

Aspecto:

Polvo: blanco.

Líquido: marrón.

Densidad: Líquido: 1,25 kg/l

Contenido de sólidos: Líquido: aprox. 36%

pH: Líquido: aprox. 7

Condiciones de almacenamiento: Al resguardo de las heladas.

Conservación:

2 años desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.

Presentación:

Polvo: en cajas con 10 bolsas de 1 kg.

Líquido: en garrafa de 30 kg y bidón de 250 kg.

Dosificación

2% del peso de cemento.

Modo de empleo

Mezclado

El FRIOLITE-oC Polvo se mezcla en seco con el cemento y los áridos antes de incorporar el agua de amasado.

El FRIOLITE-oC Líquido se añade directamente al agua de amasado.

Indicaciones importantes.

Aunque se utilice el FRIOLITE-oC no hay que dejar de observar las reglas que se siguen normalmente durante la fabricación y colocación de un hormigón de calidad. Además durante el hormigonado en tiempo de helada hay que realizar con esmero:

- Una buena preparación: el cemento, agua y áridos se protegerán de las heladas, calentándolos si fuera necesario. Se eliminarán el agua, nieve y hielo que pudiera existir sobre el soporte, calentando las armaduras y los encofrados por encima de 0°C si es preciso. Deben colocarse encofrados que eviten la pérdida de calor.
- Un buen hormigonado: máxima cantidad posible de agua de amasado y contenido suficiente de cemento. La temperatura del hormigón fresco debe estar por encima de + 5°C. El hormigón debe compactarse bien por vibración.
- Un buen tratamiento posterior: se protegerá el hormigón contra las pérdidas de calor y de humedad, cubriéndolo y aislándolo con cuidado.

Se deberá prolongar los plazos de desencofrado en el número de días en que la temperatura haya estado por debajo de 0°C a partir del momento de la confección del hormigón”.

3.3 Preparación de la mezcla.

3.3.1 Temperatura de la mezcla.

En el clima frío, la temperatura de mezclado se debe controlar, de modo que cuando se coloque el hormigón, en el lugar donde exista una baja temperatura prominente y de acuerdo al planteamiento de un hormigonado en tiempo frío, su temperatura debe contribuir a una menor pérdida de calor y no encontrarse a bajo de los valores recomendados en las tablas entregadas por la Norma Chilena Nch170of85, a fin de evitar el congelamiento en etapas tempranas del hormigón. Por consiguiente, es recomendable,

ajustar la temperatura de la mezcla, regulando la temperatura del agua de amasado que puede ajustarse fácilmente a la temperatura deseada, mezclando agua caliente y fría, debido a lo difícil que resulta calentar los agregados uniformemente a una temperatura determinada.

En clima frío las mezclas deben prepararse para que tengan un mínimo de exudación, o si se produce, el agua se debe extraer de la superficie.

Espesor elemento, cm	Temperatura mínima, °C
Menor que, 30	13
Entre 30-90	10
Entre 90 – 180	7
Mayor que, 180	5

Cuadro 3.5, Relación del espesor del elemento a hormigonar con la temperatura mínima de colocación del hormigón, según NCh170of85 Chile.

Temperatura Ambiente °C	Temperatura de colocación °C			
	13	10	7	5
	Temperatura requerida en la hormigonera			
5 a 0	16	13	10	7
0 a -18	18	16	13	10
bajo a -18	21	18	16	13

Cuadro 3.6, Relación entre la temperatura de colocación del hormigón y la temperatura ambiente, nos entrega la temperatura de la hormigonera, según NCh170of85.

La razón agua cemento en una mezcla para un hormigón en tiempo frío debe ser baja. Porque, cuando el hormigón se encuentra a la temperatura de congelación, el agua contenida en los poros capilares de la pasta y de los áridos se congela, aumentando su volumen en un 9%, produciendo una rotura inicialmente pequeña y superficial lo que irá destruyendo el hormigón a través del tiempo, por esto también debe ser muy bien compactado y además de los incorporadores de aires, mencionados tendrían como consecuencia dos hechos, uno de ellos es bloquear las capilaridades y proporcionar espacio que aliviará el acrecentamiento de volumen.

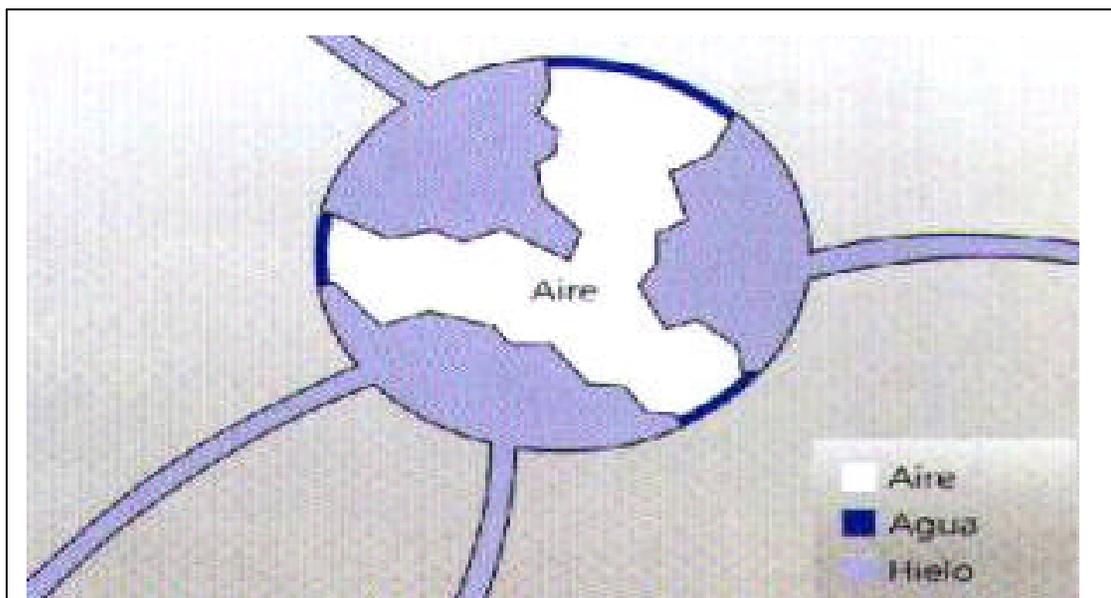


Fig 3.1, Capilar protegido con una burbuja de aire, el cual se enfrentado a Ciclo de hielo deshielo.

3.3.2 Calentar agua de amasado.

El agua de amasado debe estar a una temperatura regulada y se debe evitar las fluctuaciones en la temperatura del hormigón.

Se conoce que el contacto prematuro del agua muy caliente, ocasiona grumos al mezclarse con cantidades importantes de

cementos. Cuando el agua supera los 80°C puede ser necesario ajustar el orden de mezclado de los componentes del hormigón, de forma de agregar el agua y los agregados gruesos antes del cemento y disminuir la adición de agua mientras se carga el cemento.

A fin de facilitar el mezclado se debe colocar en primer lugar $\frac{3}{4}$ partes de agua caliente, ya sea antes de los agregados o junto con ellos, a fin, de prevenir que se aglomeren en el fondo de la betonera, los agregados gruesos deben cargarse primero y el cemento después de los agregados, como parte final se debe colocar la $\frac{1}{4}$ parte de agua restante a una rapidez moderada.

El agua cercana al punto de ebullición puede usarse si se comprueba que las temperaturas resultantes del hormigón se encuentra entre los límites señalados en el cuadro 2.6.

La temperatura normal de calentamiento del agua de amasado es de 60 °C.

3.3.3 Calentar los agregados.

Cuando los agregados están libres de hielo o escarcha, y se requiere alcanzar una temperatura determinada en la elaboración del hormigón, esta se logrará solamente calentando el agua de amasado, pero cuando la temperatura del aire es menor a 4°C eventualmente puede ser necesario calentar los agregados también. Ahora si, los áridos están secos y libres de hielo la temperatura de mezclado puede obtenerse calentado además del agua de amasado, la arena, la cual no es recomendable calentar sobre los 40°C y en caso, que se necesitare, se debiere ajustar la temperatura de los

otros agregados que componen el hormigón.

Para calentar los agregados, la mejor forma de realizarlo es a través de la circulación de vapor por medio de tuberías. Cuando los áridos se descongelen o se calientan, es conveniente cubrir la superficie expuesta al medio ambiente de estos, en la medida de lo posible a fin de mantener una distribución de calor uniforme y de evitar la formación de superficies de material congelado.

Cuando las circunstancias requieran del deshielo de una cantidad considerable de material que está a temperatura extremadamente baja, los chorros de vapor puede constituir el único medio práctico de proporcionar calor necesario. En este caso el deshielo debe realizarse con anticipación para que en el momento de la dosificación el material pueda alcanzar un equilibrio sustancial en el contenido de humedad, como en la temperatura.

Debe evitarse el sobrecalentamiento de modo que las temperaturas no excedan los 100°C y la temperatura promedio no exceda los 65°C cuando se vacíen los agregados a la betonera.

3.4 Cálculo de la temperatura de la mezcla.

Lo que determina el instituto americano del concreto, dice “si se conoce los pesos y temperatura de todos los constituyentes y el contenido de humedad de los agregados, la temperatura final de la mezcla del hormigón puede estimarse con la siguiente fórmula”.

Ecuación 2-1, ACI 306-1 Cold Weather

$$T = \frac{[0.22(T_s W_s + T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_s W_{ws} + T_a W_{wa}]}{[0.22(W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{wa} + W_{ws}]}$$

T: Temperatura final del hormigón (°C)

Ts: Temperatura del árido fino (°C)

Ta: Temperatura del árido grueso (°C)

Tc: Temperatura del cemento (°C)

Tw: Temperatura del agua de amasado (°C)

Wc: Peso del cemento (kg)

Ws: Peso árido fino saturado superficie seca (SSS) (kg)

Wa: Peso árido grueso SSS (kg)

Ww: Peso agua de amasado (kg)

Wws: Peso agua libre en árido fino (kg)

Wwa: Peso agua libre en árido grueso (kg).

La ecuación (2-1) se deriva al considerar el equilibrio del balance de calor de los materiales antes y después de mezclarlos y suponiendo que el calor específico del cemento y los áridos son iguales a 0,22 Kcal/(Kg °C).

Si la temperatura de uno o ambos áridos está bajo 0°C, el agua contenida en ellos (agua libre) se congelará. Así, la ecuación debe ser modificada sustituyendo el término (Ts Wws) por Wws(0.50Ts - 80) si la arena está congelada, o (Ta Wwa) por Wwa(0.50Ta - 80) si la grava está congelada, estos cambios se realizan debido a la necesidad de transformar el hielo en agua, y

poder elevar la temperatura del agua libre hasta la temperatura final de la mezcla. El calor específico del hielo es de 0,5 Kcal/(Kg °C).y el calor de fusión del hielo es de 80 Kcal/(Kg °C).

NOTA: Ahora se aplicara la formula a un ejercicio con valores ficticios, con el objetivo de clarificar aun más, y también se procederá a comentar paso a paso la aplicación de esta.

Aplicación De la Formula.

Supongamos una dosificación bajo las siguientes condiciones y presentados en el siguiente ejemplo.

Datos del ejercicio.

Elemento a hormigonar, muro de 25cm de espesor.

Temperatura ambiente 0°C a 5°C.

Dosificación en peso seco, absorción y humedad de áridos y temperaturas:

Materiales	Dosif. En peso seco	Absorción %	Humedad %	Temperat. °C
Cemento	300Kg	***	***	13
Grava	1050Kg	1	1,2	5
Arena	860Kg	2	7,0	8
Agua libre	160Kg	***	***	9
Agua total (Ári seco)	188Kg	***	***	***

Las siguientes definiciones son extraídas de la NCh170of85 y el libro “Propiedades del hormigón”, del instituto del cemento y el hormigón de chile.

- Agua de amasado: agua que contiene el hormigón fresco, descontada el agua absorbida por los áridos hasta la condición de saturados superficialmente secos.

- Absorción: es el contenido total de humedad interna de un árido en condición de saturado superficie seca y es una medida de la porosidad del mismo. Se determina por la diferencia de peso entre las condiciones saturada superficie seca y seca al horno.
- Humedad: la humedad libre de un árido, valor sumamente importante y necesario para hacer la corrección de dosificación por humedad que aportan los áridos, se determina como la diferencia porcentual entre la humedad total (obtenida por secado al horno 110°C) y la absorción, o sea: la capacidad de los áridos para contener humedad libre depende de su tamaño; a menor tamaño, mayor capacidad de retención de agua libre.
- Agua total: valor que representa al agua que supuestamente se utilizaría si los áridos se encontraran totalmente secos.

1.- Paso:

Se determinara la temperatura de fabricación del hormigón, sin alterar la temperatura del agua y los agregados.

Determinación Agua amasado.

Se realizara primeramente la multiplicación entre el peso de los agregados y el porcentaje de Absorción que contienen los agregados, por consiguiente, se sumara la cantidad de agua contenido en los áridos obtenido de la operación realizada anteriormente, este contenido de agua será denotado por "Total".

$$(\text{Agua de amasado}) = (\text{Agua total}) + (\% \text{ Absorción})$$

% Absorción:

Grava: $1050 \times 1,0\% = 10,5 \text{ L}$; Arena: $860 \times 2,0\% = 17,2 \text{ L}$.

Total = $10,5 + 17,2 \text{ L} = 27,7 \text{ L} = 28 \text{ L}$.

Agua amasado: $188 + 28 = 216 \text{ L}$.

Determinación Peso árido Saturado Superficie Seca:

Se multiplicara el peso del agregado seco por el porcentaje de absorción y este valor obtenido se le sumara al peso del agregado seco, obteniéndose así el peso del árido saturado superficialmente seco.

(Peso SSS) = (Pseco) x (1 + Absorción)

Grava: $1050 \times (1 + 1,0\%) = 1060,5 \text{ kg} = 1061 \text{ kg}$.

Arena: $860 \times (1 + 2,0\%) = 877,2 \text{ kg} = 877 \text{ kg}$.

Determinación Peso árido húmedo:

Se multiplicara el peso del agregado seco por el porcentaje de humedad y este valor obtenido se le sumara al peso del agregado seco, obteniéndose así el peso del árido húmedo.

(Peso húmedo) = (Pseco) x (1 + Humedad)

Grava: $1050 \times (1 + 1,2\%) = 1062,6 \text{ kg} = 1063 \text{ kg}$;

Arena: $860 \times (1 + 7,0\%) = 920,2 \text{ kg} = 920 \text{ kg}$.

Determinación Agua libre en áridos:

Para determinar el agua libre contenida en la superficie de este, será la diferencia entre el peso húmedo del agregado y el peso saturado superficialmente seco. Obteniéndose así el agua libre en cada agregado utilizado.

(Agua libre) = (Peso húmedo) - (Peso SSS)

Grava: $1063-1061 = 2$ L;

Arena: $920-877 = 43$ L.

Estimación temperatura fabricación hormigón.

$$T = \frac{[0,22 \times (8 \times 877 + 5 \times 1061 + 13 \times 300) + 9 \times 216 + 8 \times 43 + 5 \times 2]}{[0,22 \times (877 + 1061 + 300) + 216 + 2 + 43]} = 7,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, la temperatura de fabricación del hormigón, sin modificar la temperatura del agua y de los agregados es de 7,8 °C.aprox.

2.- Paso:

Ahora, determinaremos la temperatura que debemos calentar el agua para alcanzar la temperatura mínima de colocación que nos exige la norma NCh170of85 en la tablas presentada en esta tesis.

Determinación de la temperatura de colocación.

Según Tabla 2.3.1, para elementos de espesor menor a 30 cm la temperatura de colocación debe ser 13°C.

Espesor elemento, cm	Temperatura mínima, °C
Menor que, 30	13

Determinación de temperatura de fabricación:

Según la Tabla 2.3.2, para temperatura del aire de 0 a 5°C y temperatura de colocación 13°C, la temperatura de fabricación debe ser 16°C. Por lo tanto, los materiales deben ser calentados (temperatura actual: 7.8°C, se aproxima a 8°C).

Temperatura Ambiente °C	Temperatura de colocación °C			
	13	10	7	5
	Temperatura requerida en la hormigonera			
5 a 0	16	13	10	7

Determinación temperatura agua amasado para fabricar hormigón a 16°C.

Datos.

T° de hormigón, T° de arena, T° grava, T° cemento

T=16°C; T_s=8°C; T_a=5°C; T_c= 13

Peso arena(sss), Peso grava(sss), Peso cemento

W_s =877 Kg W_a =1061 Kg W_c =300 Kg

Peso agua de amasado, Peso agua libre Arena, Peso agua libre Grava

W_w =115 L W_{w_s} =43 L W_{w_a} = 2 L

$$T_w = \frac{T \times [0,22 \times (W_s + W_a + W_c) + W_w + W_{w_a} + W_{w_s}] - 0,22 \times (T_s W_s + T_a W_a + T_c W_w) - T_s W_{w_s} - T_a W_{w_a}}{W_w}$$

$$T_w = \frac{16 \times [0,22 \times (877 + 1061 + 300) + 216 + 2 + 43] - 0,22 \times (8 \times 877 + 5 \times 1061 + 13 \times 300) - 8 \times 43 - 5 \times 2}{216}$$

T_w = 38 °C.

La temperatura del agua de amasado debe ser de 38°C.

Notar que existen muchas combinaciones de temperaturas de agua de amasado y áridos que resultarán válidas. En cada caso, deberá estudiarse en terreno la temperatura adecuada a la que deben calentarse los áridos

Capítulo 4

4.0 Colocación del hormigón.

4.1 Protección y cuidados ante de la colocación.

Consiste en todas las precauciones que se deben tomar antes de colocar el hormigón.

4.1.1 Temperatura de la superficie en contacto con el hormigón fresco.

Consiste principalmente en asegurarse que las superficies que vayan a estar en contacto con el hormigón recién colocado estén a una temperatura que no pueda ocasionar un congelamiento prematuro o prolongar el fraguado. Por lo general, estas superficies de contacto, incluyendo los materiales de la sub-base no necesitan las temperaturas ser superior de 2°C a 3°C y de preferencia no más de 5°C, mas alta que la temperatura de colocación mínima del hormigón, señalada el cuadro 3.5.

Espesor elemento, cm	Temperatura mínima, °C
Menor que, 30	13
Entre 30-90	10
Entre 90 – 180	7
Mayor que, 180	5

Cuadro 3.5, Relación del espesor del elemento a hormigonar con la temperatura mínima de colocación del hormigón, según NCh170of85 chile.

4.1.2 Temperatura de empotrados metálicos.

La colocación de hormigón alrededor de la armadura empotrada y que estén a temperaturas menores al punto de congelación del agua, puede ocasionar congelación de la zona de contacto del hormigón con la armadura metálica, si la armadura permanece congelada después de transcurrida la vibración final habrá una disminución constante en la resistencia a la adherencia entre el hormigón y la armadura. En consecuencia, se sugiere que los empotramientos de aceros que tengan una sección transversal mayor a 650 mm^2 debe tener una temperatura de al menos 12°C inmediatamente antes de que sea colocado el hormigón a una temperatura de 13°C . La ACI (american concrete institute) entrega recomendaciones, donde se deben hacer estudios adicionales antes de que se puedan hacerse recomendaciones definitivas, debido al fenómeno de las tensiones interna que pueda sufrir el acero al exponerlo al calor, bajo un ambiente frío como el que se encontraría eventualmente.



Figura 4.1, Retiro de escarcha y sobrecalentamiento de la armadura, para que la temperatura del hormigón y de la armadura se encuentre casi a una misma temperatura.

4.1.3 Remoción de hielo y nieve.

Todo el hielo, y la escarcha deben quitarse, de manera que no ocupen el espacio destinado al hormigón. Se puede utilizar chorros de aire caliente para remover la escarcha, la nieve y el hielo de los moldajes. A menos que el área de trabajo esté cubierta, puede ser necesario llevar a cabo este trabajo justo en el momento anterior a la colocación del hormigón con el fin de evitar que se vuelvan a congelar.



Figura 3.3, Retiro de la nieve previo a colocar el hormigón.



Figura 3.4, Protección de las zonas que se están hormigonando, así también se crea un microclima para proteger el hormigón.

La zona donde se va hormigonar se protege con carpas. En consiguiente, Nunca debe colocarse hormigón sobre material congelado de la superficie de la sub-base. En ocasiones, la sub-base se puede descongelar lo suficiente como para colocar el concreto cubriéndola con material aislante durante unos días antes de la colocación del hormigón, pero en la mayoría de los caso resulta necesario aplicar calor externo. De ser necesario el material descongelado debe volverse a compactar.

4.2 Cierros utilizados como protección.

Los recintos son, probablemente el medio de protección más seguro, pero también el más costoso. La necesidad de recintos depende de la naturaleza de la estructura y de las condiciones climáticas (viento y nieve). Su utilización generalmente se realizan cuando el hormigonado se efectúa a una temperatura de -20°C , debido que, deben bloquear el viento y el aire frío para así conservar el calor dentro del recinto para poder hormigonar. Estos pueden fabricarse con cualquier material adecuado como madera, lonas, paneles de construcción o laminas plásticas. Los recintos hechos de materiales flexibles son menos costosos y mas fáciles de fabricar y retirar. Los fabricados con materiales rígidos son mas efectivos para bloquear el viento y mantener las temperatura del perímetro. Además estos deben ser capaces de soportar las cargas de viento, de nieve y deben ser razonablemente herméticos, tiene que contar con suficiente espacio entre la estructura de hormigón y el cierre para que, así pueda circular el aire tibio, además el techo del cierre debe tener un suficiente espacio, con el objetivo, que los trabajadores puedan trabajar en forma cómoda y eficientemente.

En estos recintos calentados, los moldajes sirven para distribuir más ampliamente el calor. En muchos casos, si se usan moldajes con aislamiento adecuado, incluyendo los moldajes de acero, se proporcionará protección adecuada que no requerirá de un calentamiento suplementario.

El calor puede proporcionarse por medio del vapor, aire caliente o calentadores de combustión de distinto tipos. Aunque el calentamiento mediante el vapor proporciona un medio de curado ideal, pero ofrece condiciones de trabajo menos que ideales y puede ocasionar problemas de congelamiento en los alrededores de perímetro del recinto. Los calentadores y ductos deben colocarse de modo que no ocasionen áreas de sobrecalentamiento o sequen la superficie del hormigón. Durante el periodo de protección las superficies no deben estar expuestas al aire a más de 11°C por encima de la temperatura mínima de colocación señalada en cuadro 2.5, a menos que, para un método aceptado de curado, se requieran temperaturas mayores.



Figura 3.5, Cierros utilizados como protección y sirve para crear microclima en el interior.

4.3 Usos de calentadores.

Existen dos tipos de calentadores que son usados en trabajos de hormigonado en tiempo frío: los de fuego directo y los de fuego indirecto. Los calentadores de fuego indirecto tienen un intercambiador de calor en la caldera y expulsan los gases producidos hacia fuera. Estos calentadores descargan solamente aire limpio y calientan dentro del área encerrada. Su uso se recomienda cuando el hormigón, especialmente de pisos y losas, es colocado en áreas encerradas y calentadas. Su sistema reduce el riesgo de carbonatación de la superficie.

Los calentadores de fuego directo calientan el aire aspirado conforme este pasa por la fuente de calor. El aire calentado contiene monóxido de carbono y dióxido de carbono. En una área encerrada y sin ventilación donde operan estos calentadores, pueden esperarse altos niveles de monóxido de carbono que amenacen la seguridad de los trabajadores y de dióxido de carbono que dañen el hormigón fresco. El uso de estos últimos, se deben seguir las siguientes recomendaciones entregadas por los fabricantes, donde la ventilación del lugar, debe haber $0,28\text{m}^2$ de área de ventilación por cada 25.216 Kcal/hora. De calor continuo. Dos aberturas, una cerca del suelo y otra cerca del techo proporcionaran el flujo de aire necesario.

Si el equipo de calentamiento trabaja con gasolina puede ser necesaria más área de ventilación.

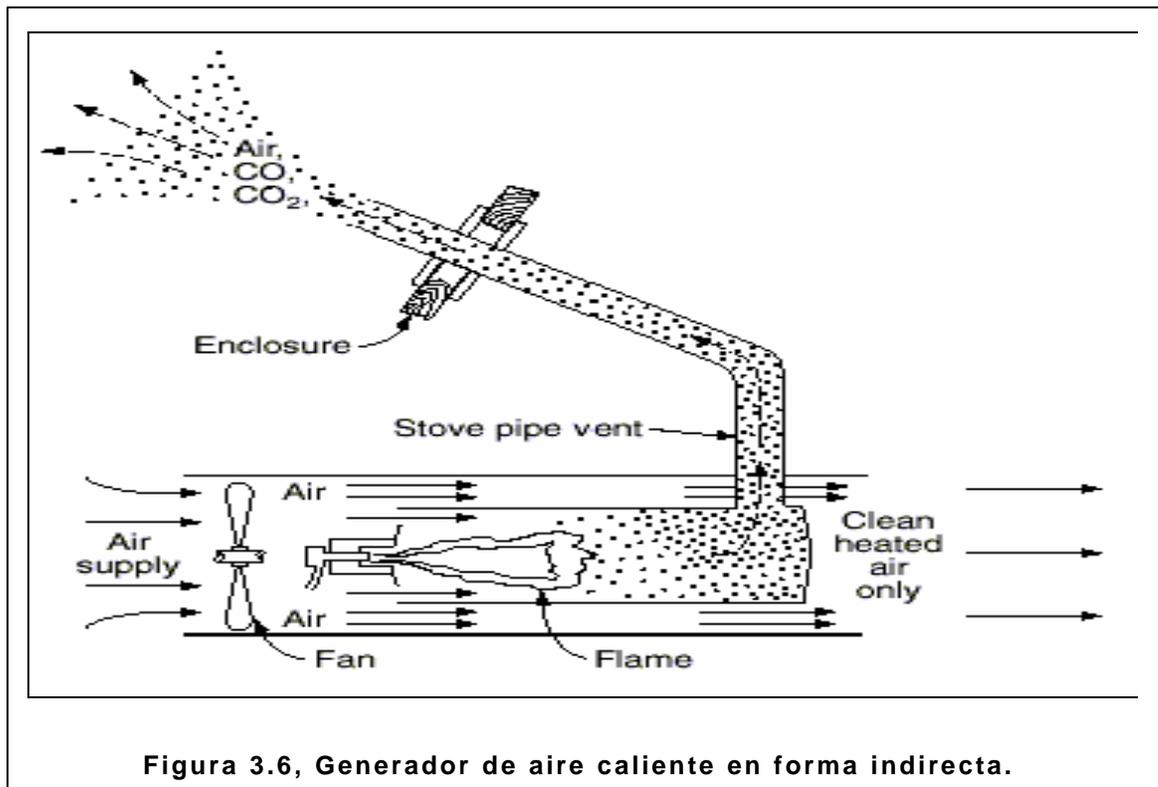


Figura 3.6, Generador de aire caliente en forma indirecta.



Figura 3.7, Generador de aire caliente en forma indirecta.

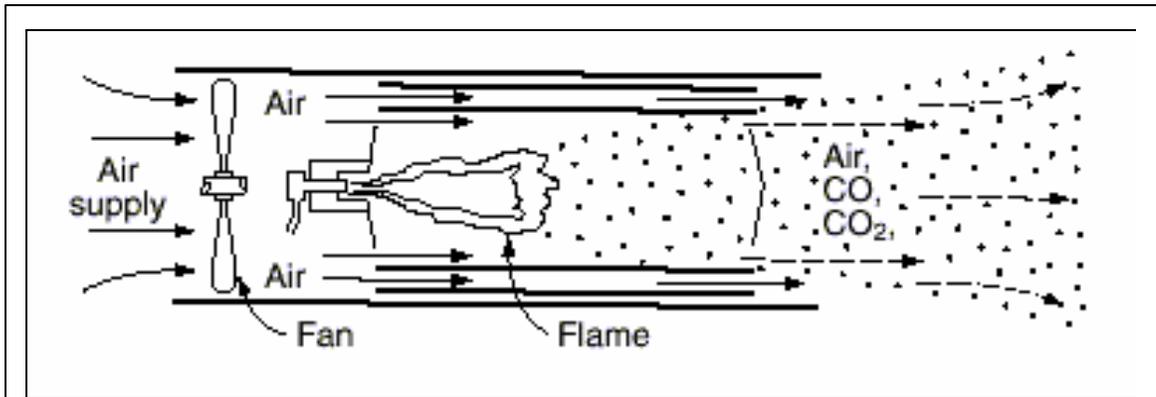


Figura 3.8, Generador de aire caliente en forma directa.



Figura 3.9, Generador de aire caliente en forma directa.

Capítulo 5

5.0 Protección para el hormigón.

5.1 Periodo de protecciones.

Las protecciones necesarias para evitar el congelamiento temprano deben proporcionarse inmediatamente después de la colocación del hormigón. Antes de la misma deben hacerse todos los arreglos referentes a cubrir, aislar, calentar o cuidar el hormigón recién colocado. Las protecciones deben ser adecuadas para lograr, en todas las secciones del hormigón, la temperatura y condición de humedad recomendada en la "*Temperatura mínima de colocación del hormigón.*"

Espesor elemento, cm	Temperatura mínima, °C
Menor que, 30	13
Entre 30-90	10
Entre 90 – 180	7
Mayor que, 180	5

Cuadro 2.5, Relación del espesor del elemento a hormigonar con la temperatura mínima de colocación del hormigón, según NCh170of85

5.1.1 Duración del periodo de protección.

La duración del periodo de protección puede reducirse sí

- a) Si se usan cemento de alta resistencia.

- b) Si se usan aditivos aceleradores de fraguados.
- c) Si se usa dosificación mayor de cemento.

Se ha demostrado que cuando no hay fuentes externas de agua para el curado, el hormigón que ha obtenido una resistencia de 35 kg/cm^2 no resultara dañado por un ciclo de hielo-deshielo. (Powers,1962; Hoff.& buck 1983).

Los periodos de protección que se dan en la siguiente tabla, pueden reducirse si se comprueba que el hormigón, incluyendo sus bordes y esquinas, ha obtenido una resistencia a la compresión en el lugar de al menos 35 kg/cm^2 y se estima que no se vera expuesto a más de un ciclo de congelamiento antes de que se entierre o rellene.

PLAZOS DE PROTECCIÓN EN DÍAS				
Condición del elemento	Plazo para asegurar durabilidad		Plazo para asegurar durabilidad y resistencia	
	Cemento grado		Cemento grado	
	Corriente	Alta resistencia	Corriente	Alta resistencia
Sin carga, no expuesto (fundación bajo tierra)	2	1	2	1
Sin carga, expuesto (represas, pilares macizos)	3	2	3	2
Carga parcial, expuesto (sobrecimientos)	3	2	6	4
Cargado y expuesto (vigas, losas, columnas)	3	2	Aplicar tabla siguiente	

Cuadro 5.1, Plazo de protección en días, 1 día equivale a 24 a un periodo de 24 horas, NCh170of85 chile.

PLAZOS DE PROTECCIÓN EN ELEMENTOS CARGADOS Y EXPUESTOS EN DIAS				
Temperatura media diaria del ambiente para el periodo de curado, °C	Temperatura el hormigón protegido			
	10 °C		21°C	
	Cemento grado		Cemento grado	
	Corriente	Alta resistencia	Corriente	Alta resistencia
	Sobre 0	6	3	4
De 0 a -4	11	5	8	4
De -5 a -9	21	16	16	12
Menos de -9	29	26	23	20

Cuadro 5.2, Plazo de protección en elementos cargados y expuestos en días, NCh170of85 Chile.

Requieren de curado normal y protección del cuadro 5.1

a) Sin carga no expuesto, se incluyen cimientos y subterráneos que no estarán sometidos a cargas tempranas y que están enterrados o tapados y que no sufrirán congelamiento y deshielo durante su vida de servicio.

b) Sin carga, expuesto: pilares, presas que tienen secciones expuestas a congelamiento durante su vida de servicio, pero que no tienen requerimiento de grandes resistencias tempranas. se requieren en este caso protección contra el congelamiento temprano.

c) Carga parcial y expuesta: incluye estructuras expuestas al clima y que puede estar sometidas a leves cargas tempranas en comparación con su resistencia antes de tener su carga de diseño.

d) Cargado y expuesto: esta categoría incluye al concreto estructural, que requiere de apoyos de construcción temporales para evitar en enfrentamiento directo con el medio ambiente.

5.2 Moldaje.

Durante el clima frío, la protección que dan los moldajes, con excepción de los de aceros, es muy importante, por lo que es siempre ventajoso dejar los moldajes en su lugar durante el período mínimo de protección.

Sin embargo, un plan económico casi siempre indica retirar los moldajes en etapas tempranas. En tales casos, los moldajes pueden quitarse lo más temprano posible siempre y cuando esto no represente en daños para el hormigón ya sea, en su resistencia, terminación o calidad.

Si se usan cuñas para separar el moldaje del hormigón joven, estas deben ser de madera. Generalmente, si el hormigón es suficientemente fuerte (resistencia tempranas altas, conseguido a través de la elaboración del hormigón con cementos de altas resistencia), las esquinas y bordes no resultarán dañados durante el retiro de los moldajes. El tiempo mínimo antes del descimbrado puede determinarse mejor por la experiencia, dado que resultara influido por muchos factores de trabajo, incluyendo el tipo y cantidad de cemento y otro aspecto de la mezcla del hormigón, la temperatura de curado, el tipo de estructura, el diseño de los moldajes, y las habilidades de los trabajadores. Después de la remoción de los moldajes, el hormigón debe cubrirse con mantas aislantes o protegerse en recintos calentados durante el tiempo recomendado en los cuadros 5.1 y 5.2. Si se usa calentamiento eléctrico por medio de serpentines eléctricos, el hormigón debe cubrirse con una lámina impermeable y calentarse continuamente durante el tiempo recomendado.

5.2.1 Bajas de temperaturas después de la remoción.

Al finalizar el periodo de protección, el hormigón debe



Figura 5.1, Lona protectora que cumple la función de .proteger el hormigón

enfriarse gradualmente, a fin de reducir las deformaciones inductoras de grietas entre el interior y exterior de la estructura, las bajas de temperatura no deben exceder los valores del cuadro 5.3

Tamaño de la sección, dimensiones mínimas (cm.)			
<30 cm.	30ª 90 cm	90 a 180 cm	>180 cm
28°C	22°C	17°C	11°C

Cuadro 5.3, Temperaturas mínimas de debe tener el hormigón, según ACI 306-1

5.2.2 Condiciones para retirar los moldajes.

Especialmente en el caso de elementos soportantes esbeltos (losas, vigas, pilares), se recomienda obtener una resistencia de diseño antes de poder quitar con seguridad los moldajes y alzaprimas, se debe permitir un tiempo superior al mínimo indicado en las tablas 5.1 y 5.2, dados que estos tiempos mínimos no son adecuados para proporcionar la adecuada ganancia de resistencia. Los criterios para la remoción de los moldajes y alzaprimas, de muros y losas deben basarse en la resistencia en el lugar, del hormigón, mas que en un tiempo determinado arbitrariamente, de acuerdo a las condiciones señaladas anteriormente. Donde para cada etapa de hormigonado se deben confeccionar a lo menos seis probetas especiales de acuerdo con el punto. A.2.1 de NCh 1017, y establecer un plan de ensayos para trazar la curva de edad-resistencia correspondiente.

En consiguiente, la norma chilena 1017 *“Confección y curado en obra de probetas de hormigón para ensayos de compresión y tracción”*. Señala lo siguiente. Esta norma establece los procedimientos para confeccionar y curar en obra probetas de hormigón fresco que serán ensayadas a compresión, tracción por flexión o hendimiento.

Conceptos:

a) Molde cúbico: molde cuya forma interior es un cubo abierto por unas de sus caras.

b) Molde cilíndrico: molde cuya forma interior es un cilindro abierto por unas de sus caras.

c) Molde prismático: molde cuya forma interior es un prisma recto de sección cuadrada, abierto por unas de sus caras mayores.

MOLDE	PROBETA	ENSAYO
Cúbico	Cubo	Compresión
Cilíndrico	Cilindro	Compresión y tracción por hendimiento
Prismático	Prisma (viga)	Tracción por flexión, compresión.

**Cuadro 4.4, Resumen de los tipos de ensayos que debieran realizarse
Para determinar resistencia**

NCh 1017 “Confección y curado en obra de probetas de hormigón para ensayos de compresión y tracción”

El material de los moldes podrá ser de metal u otro material resistente, no absorbente y químicamente inerte para evitar que reaccione con los componentes del hormigón. Serán herméticos a la lechada. Con superficies interiores lisas y libres de imperfecciones. Todos las caras interiores adyacentes deberán ser perpendiculares entre si y las opuestas paralelas.

Las probetas deberán cumplir con una dimensión básica interior del molde superior o igual a tres veces el tamaño máximo nominal del árido.



Figura 4.2, Fotografía de un molde cúbico, según NCh1017



Figura 4.3, Fotografía de moldes prismáticos, según NCh1017



Figura 4.4, Fotografía de moldes cúbicos, según NCh1017

Aparato de compactación.

a) Pisón: barra cilíndrica de acero con extremos redondeados de 16 mm de diámetro y 600 mm de largo.

b) Vibrador interno: aparato eléctrico cuya frecuencia de vibración es de 6000 pulsaciones por minuto.

c) Vibrador externo: placa metálica (mesa de compactación) cuya frecuencia de vibración es de 3000 pulsaciones por minutos.

Al encontrar partículas (áridos) de mayor tamaño deberán ser eliminadas.

Los moldes deberán ser aceitados previamente para evitar la adherencia de estos y el hormigón.

En obra, el lugar de fabricación de las probetas de hormigón fresco deberá ser el mismo del curado inicial cuidando que exista una base de apoyo para los moldes, para así evitar choques y vibraciones.

Al agregar el hormigón en los moldes evitar posibles segregaciones, escoger el procedimiento de compactación mediante

Asentamiento en cm.	Procedimiento de compactación
$a < 5$	Vibrado
$5 \leq a \leq 10$	Apisonado o vibrado
$10 < a$	Apisonado

Cuadro 4.5, Resumen de los tipos de compactación para las muestras, según NCh1017

el asentamiento del cono de Abrams.

a) Apisonado

En moldes cúbicos y prismáticos colocar el hormigón en dos capas y en molde cilíndrico tres capas de similar espesor. Distribuyendo los golpes de pisón en toda la superficie a compactar, 8 golpes por cada 100 cm².

b) Vibrado interno

i) En moldes cúbicos y prismáticos colocar el hormigón en 1 capa de similar espesor, introducir y retirar lentamente el vibrador en la zona central.

ii) En moldes cilíndricos colocar el hormigón en 2 capas de similar espesor, introducir y retirar lentamente el vibrador en la zona central a lo largo, en ambos la vibración se



realizará hasta que aflore la lechada.

c) Vibrado externo

Fijar el molde al vibrador luego colocar el hormigón en una sola capa y vibrar hasta que aflore la lechada.

Luego de la compactación enrasar el hormigón superficial con el pisón cuidando de no separar el mortero del árido grueso, terminar alisando la superficie con una espátula humedecida. Rotular las moldes a modo de identificar las probetas.

d) Curado inicial

Evitar la evaporación manteniendo las probetas entre 16° y 27°C. Cubrir las caras expuestas con laminas de material impermeable, luego tanto probeta como molde cubrirlas por completo con arena, aserrín o arpilleras húmedas.

e) Desmolde de las probetas

Desmoldar las probetas cúbicas y cilíndricas después de 20 hrs. y prismáticas después de 44 hrs.

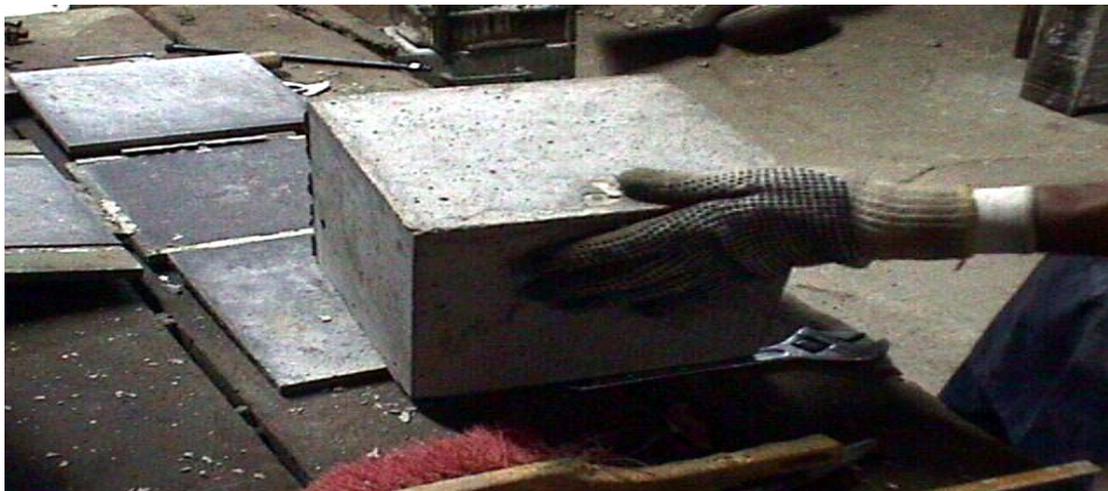


Figura 4.6, Fotografía de desmolde de muestras, según NCh1017

f) Curado final

Serán expuestas entre 17° y 23°C. Las probetas cúbicas y cilíndricas sumergirlas en agua tranquila y saturada de cal. Enterradas en arena húmeda o en cámara húmeda. Las probetas prismáticas sumergirlas en agua tranquila y saturada de cal.

El traslado de las probetas al laboratorio deberá realizarse en tal forma que no las afecte, ya sea golpes y raspaduras. Si es en sus moldes las probetas cúbicas y cilíndricas después de 20 hrs. y las prismáticas después de 44 hrs., si son desmoldadas después de 5 días.

El curado en laboratorio será similar al curado final antes mencionado.

5.3 Determinar la resistencia.

El método más directo para verificar que el hormigón haya alcanzado la resistencia suficiente en el lugar para que se retiren las alzaprimas y antes de que el curado y las protecciones se discontinúen, consisten en confeccionar al menos seis probetas de muestra de los últimos 75m³ de hormigón. Sin embargo las últimas tres probetas deben confeccionarse cada 2 horas del tiempo de hormigonado. O por cada 75m³ de hormigón y se debe seguir cualquiera de los dos procedimientos que proporcione el mayor número de muestras. Las muestras deben protegerse inmediatamente del clima frío hasta que puedan colocarse bajo el mismo tipo de protección que reciben las partes estructurales a las cuales representan. Dado que las muestras se curan en la estructuras, experimentan el mismo historial de temperaturas que la

estructura que representan. Cuando se requiere determinar una resistencia los moldes se sacan de la estructuras y los cilindros se preparan para someterse a pruebas.

Estas probetas son adicionales a las destinadas para verificar el cumplimiento de la resistencia especificada, las cuales se rigen por la norma NCh1017 (curado del hormigón a 20 ± 3 °C).

5.3.1 Método de la madurez.

Puesto que la ganancia de la resistencia del hormigón es una función del tiempo y de la temperatura, el calculo del desarrollo de la resistencia del hormigón en una estructura, se puede llevar a cabo, relacionando los incrementos de temperatura y el tiempo del hormigón en la obra con la resistencia de los cilindros de la misma mezcla de hormigón, cuando bajo condiciones estándares de laboratorios. Esta relación ha sido establecida (Bergstrom 1953) por medio del uso del factor de madurez "M", expresado como.

$$M = \sum (T - T_0) \times \Delta T.$$

T_0 =Temperatura ambiente.

T =Temperatura de la estructura.

ΔT = Duración del curado de T, en horas.

El valor apropiado de T_0 depende del tipo de cemento, el tipo y cantidad de aditivo y el rango de la temperatura. por ejemplo. Para el hormigón fabricado con un cemento tipo I, y curado entre un rango de entre 0°C y 20°C se sugiere (Carlino, 1984) un valor de - 5°C. Este valor puede no ser aplicable a otros tipos de cementos o al cemento tipo I en combinación con aditivos minerales o líquidos.

esta recomendación entrega la norma ACI-306.

El valor de T_0 se determina con el fin de establecer una temperatura, apropiada para que la estructura de hormigón que se va a curar, gane resistencia, por eso se establece una temperatura a priori de la mezcla de hormigón en particular, para saber bajo que temperatura el hormigón deja de ganar resistencia, esta es la temperatura ambiental mínima que debe existir en la obra o lugar donde se encuentra la estructura en el momento de hormigonar para que este gane resistencia.

En consiguiente, un ejemplo extraído de una revista entregada por cementos bio-bio.

$$M = \sum (T + 10^{\circ}\text{C}) \times \Delta T.$$

M = Factor madurez, hrs.

T = Temperatura del hormigón, $^{\circ}\text{C}$.

ΔT = Duración del curado de T , en horas.

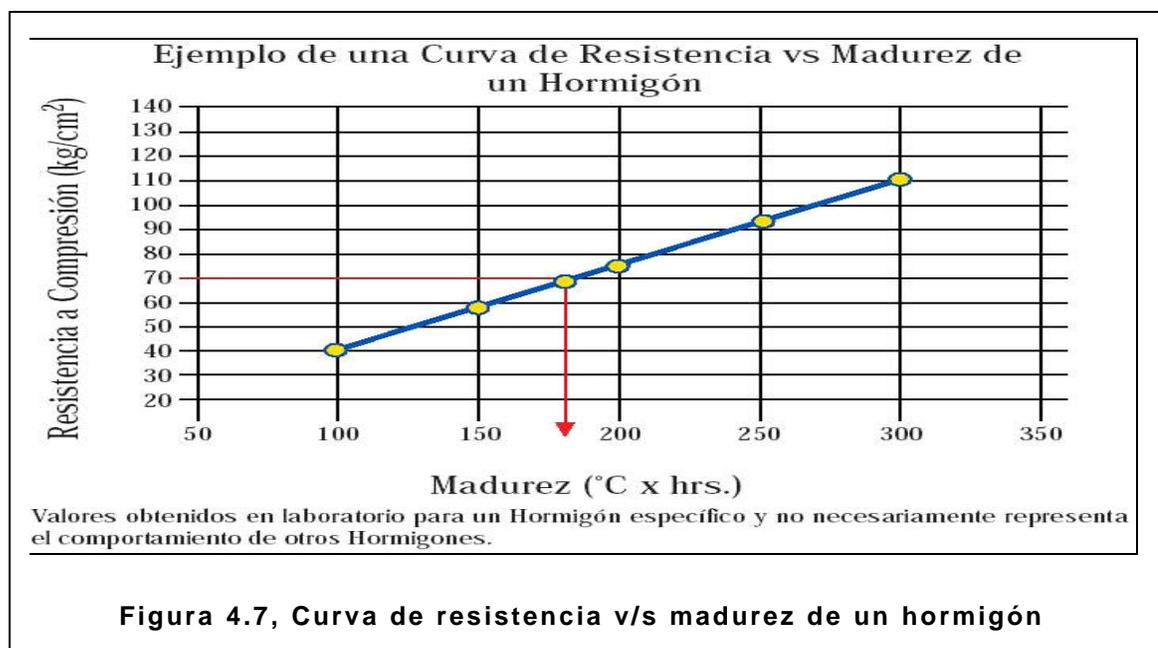
10°C = Temperatura mínima que debe existir en el momento del hormigonado, en el lugar donde la estructura se encuentra.

Para usar esta técnica, se establece una curva de resistencia versus factor de madurez y llevando a cabo pruebas de resistencia a compresión en una serie de probetas hechas con hormigón, similar al que se usará en la construcción.

Las muestras generalmente se curan a temperatura ambiente y la historia de la temperatura del hormigón se registra a fin de calcular el factor de madurez al tiempo del ensayo. Se grafican la

resistencia promedio de la probetas y el factor de madurez correspondiente en cada edad de prueba y se obtiene una curva de los datos, como la que se entrega a continuación como referencia.

En consiguiente, una vez habiendo trazado la curva de



resistencia versus factor de madurez de un hormigón, entonces se puede determinar la resistencia de un muro, losa, etc. Midiendo la temperatura del hormigón a intervalos de tiempos muy cortos y usando la ecuación antes proporcionada, para sumar los productos sucesivos de los intervalos de tiempo y las temperaturas promedio del hormigón.

Las temperaturas pueden medirse con termistores desechables, por medio de termopares dejados dentro del hormigón o solo es necesario contar con termómetros simples de vástago, un reloj para registrar los tiempos y un formulario de registro. Los registros de temperaturas deben realizarse en puntos críticos respecto de la severidad de la exposición y las condiciones de

carga.

Hr.	T	T+10°C	ΔT		°C/hr	
8	13°C					
		15,5+10=25,5	X 2	= 51		
10	18°C					
		21,5+10=31,5	X 2	= 63	114	
12	25°C					
		22,5+10=32,5	X 2	= 65	176	
14	30°C					
		31,0+10=41,0	X 2	= 82	258	
16	32°C					
		15,5+10=25,5	X 2	= 80	338	
18	28°C					
		26,0+10=36,0	X 2	= 72	410	
20	24°C					
		21,0+10=25,5	X 2	= 62	472	
22	18°C					13 hrs

Figura 5.8, Registro del factor de madurez, 1º caso

Hr.	T	T+10°C	ΔT		°C/hr	
8	10°C					
		15,5+10=25,5	X 2	= 51		
10	15°C					
		21,5+10=31,5	X 2	= 63	114	
12	20°C					
		20,5+10=30,5	X 2	= 61	161	
14	21°C					
		21,5+10=31,5	X 2	= 63	224	
16	22°C					
		21,0+10=31,0	X 2	= 62	286	
18	20°C					
		19,0+10=36,0	X 2	= 58	344	
20	18°C					
		17,0+10=27,5	X 2	= 54	398	
22	16°C					
		15,0+10=25,0	X 2	= 50	448	
24	14°C					
		13,0+10=23,5	X 2	= 26	474	
02	12°C					16 hrs.

Figura 5.9, Registro del factor de madurez, 2º caso

Hr.	T	T+10°C	ΔT		°C/hr	
8	4°C					
		5,0+10=15,0	X 2	= 30		
10	6°C				64	
		7,0+10=17,0	X 2	= 34		
12	8°C				104	
		10,0+10=20,0	X 2	= 40		
14	12°C				147	
		11,5+10=21,5	X 2	= 43		
16	11°C				188	
		10,5+10=20,5	X 2	= 41		
18	10°C				228	
		9,0+10=19,0	X 2	= 38		
20	8°C				262	
		7,0+10=17,0	X 2	= 34		
22	6°C				292	
		5,0+10=15,0	X 2	= 30		
24	4°C				319	
		3,5+10=13,5	X 2	= 27		
02	3°C				344	
		2,5+10=12,5	X 2	= 25		
04	2°C				370	
		3,0+10=13,0	X 2	= 26		
06	4°C				400	
		5,0+10=15,0	X 2	= 30		
08	6°C				436	
		8,0+10=18,5	X 2	= 36		
10	10°C				461	
		12,5+10=12,5	X 2	= 25		
12	15°C					
		15,5+10=15,5	X 2			
14	16°C					
						28 hrs.

Figura 5.10, Registro del factor de madurez, 3º caso

En el Segundo caso, se aprecia que el factor de madurez buscado de 450 °c/hrs. Se encuentra 3 horas después que en el primer caso, y si hubiera descendido mas la temperatura y colocado un caso extremo como el que se indica en el caso 3. por lo tanto, se aprecia como la temperatura y el tiempo son función de la resistencia del hormigón.

5.4 Obtención de la resistencia de diseño.

En términos generales, son escasas las oportunidades de proporcionar un curado adicional al hormigón estructural aparte del proporcionado inicialmente. Por esta razón, es recomendable que el

hormigón alcance altas resistencia a temprana edad, para asegurar la obtención de la resistencia de diseño, antes que el hormigón estructural con apoyos temporales, pueda ser librado de la protección invernal y expuesto a temperaturas de congelamiento.

5.5 Incremento en las resistencias tempranas.

El tiempo que el hormigón requiere para lograr la resistencia requerida y la segura remoción del alzaprimado se ve influido por muchos factores. Entre estos, los mas importantes son aquellos que afectan la rapidez y el nivel de desarrollo de la resistencia, tales como la temperatura inicial del hormigón en el momento de la colocación, el tipo de cemento, el tipo y la cantidad de aditivos acelerantes o de otros aditivos utilizados y las condiciones de protección y curado.

Capítulo 6.

6.0 Curado.

6.1 Generalidades.

El curado es el proceso de mantener controlado el contenido de agua del hormigón, especialmente en el período de endurecimiento, por un par de tiempo, para que la pasta de cemento se hidrate y el hormigón desarrolle las propiedades requeridas.

Durante el período de endurecimiento del hormigón, éste se debe mantener húmedo para evitar pérdida brusca del agua por evaporación.

Mientras mayor sea el período de curado, se obtendrán:

- Mayores resistencias mecánicas a largo plazo y mayores resistencias a agentes exteriores agresivos.
- Mayor impermeabilidad.
- Mayor durabilidad.
- Lo ideal sería prolongar el período de curado por lo menos 14 días.

No obstante, durante el invierno, cuando la temperatura cae por debajo de los 10°C, supuestamente las condiciones atmosféricas no provocarían un secado indeseable; pero el hormigón nuevo, en condiciones de saturación, resulta vulnerable al congelamiento y, por lo tanto, debe permitírsele un ligero secado antes de exponerlo a temperaturas de congelamiento.

6.2 Período de curado.

Debe iniciarse tan pronto como sea posible, antes que desaparezca el agua de exudación y cuando hay terminación superficial, apenas terminada ésta.

En consiguiente, los tiempo mínimos para el curado expresado por la NCh170of85 dicese que; cemento grado alta resistencia, por un período de 4 días; cemento grado corriente, por un período de 7 días. En caso de, no aplicar un curado a tiempo, o bien si el curado es intermitente, sobre todo durante los tres primeros días, hay peligro de aparición de grietas superficiales y de generación de superficies polvorientas, lo que afecta la durabilidad y resistencia del hormigón.

Por lo tanto, se debe prestar especial atención a aquél hormigón que no esta protegido por los moldajes, como por ejemplo los pisos terminados, tiende al secado rápido en un recinto calentado.

En particular, cuando un hormigón es calentado a más de 16°C y expuesto a una temperatura del aire de 10°C, es indispensable que se tomen medidas positivas a fin de evitar el secado.

6.3 Métodos de curado.

Por lo general, existen dos métodos de curado, métodos que proporcionan humedad (tratamientos húmedos) y métodos que previenen la perdida de humedad. Se pueden aplicar ambos métodos, pero sí, se deben prestar las condiciones para realizarlos, por ejemplo. Si utilizamos el primer método es recomendable utilizar

el curado a vapor, éste debe darse por terminado 12 horas antes de retirar la calefacción de recinto donde se esta realizando el proceso de curado y debe permitirse que el hormigón seque antes y durante el período de ajuste gradual a las condiciones del clima frío. Además, también se puede curar con agua a través de nebulizadores que funcionan en forma permanente, pero la temperatura del recinto debe encontrarse sobre los 10°C. Sin embargo el curado con agua es el método menos recomendable, dado que, en clima extremadamente frío, ocasiona problema de formación de hielo donde el agua se filtra de los recintos o donde existe un sellado deficiente. Asimismo incrementa la posibilidad de que el hormigón se congele en condiciones próximas a la saturación, una vez que se remueva la protección.

Cuando la temperatura del aire ha bajado por debajo de los 10°C, el hormigón puede quedar expuesto al aire dentro del recinto, siempre y cuando la humedad relativa no sea inferior al 40%. Cuando el clima es extremadamente frío, siempre resulta necesario añadir humedad al aire calentado con el objeto de mantener esta humedad.

En consiguiente, el otro método consiste en evitar la pérdida de humedad, dentro de éste método se puede aplicar las membranas de curados, no solo del inicio del curado, sino también son aplicables para curar superficies que estaban inicialmente con moldajes. Dan excelentes resultados siempre y cuando cubran toda la superficie y que sean aplicados a la brevedad posible, con un espesor uniforme esto según las recomendaciones del fabricante. Dentro de las limitantes que se puede apreciar son que, al

aplicarlos sobre superficie que recibirán hormigón o algún tratamiento (pintura, estuco, impermeabilización y otros.) deben ser removidas, ya que impiden la adherencia. Y por ultimo, sabemos que previenen la pérdida de humedad, pero no controlan la temperatura del hormigón ni agregan agua para una optima hidratación.

Continuando con el método de prevenir la pérdida de humedad, esta también, la aplicación de laminas impermeables como el polietileno, papel impermeable, u otros mencionados en el capitulo anterior. El papel impermeable es adecuado para superficies horizontales y estructuras de formas simples, cuando se coloca este tipo de material se deben tomar las siguientes precauciones; se debe colocar con un traslapo mínimo de 10 cm, debe quedar totalmente en contacto con el hormigón para evitar evaporación, en el caso de las laminas de polietileno, se deben protegerse de las temperaturas extremas y viento, debiéndose aplicar sobre ellas una capa de aislante de tierra o arena. También existen las laminas de polietileno con burbujas que son similar a las mencionadas anteriormente, con la ventaja de ser aislante térmicos lo que los hace, aun más recomendable que los anteriores.

6.4 Precauciones y protecciones durante el período del curado.

Se deben proteger las superficies y por lo tanto no debe sufrir cargas, impactos, vibraciones, transito de personas, vehículos, equipos o peso de materiales que pueda dañar al hormigón.

Una vez terminado el período de protección con curado

húmedo y luego que la temperatura ambiente supere el punto de congelación, pueden utilizarse membranas de curado formadas por vaporización de productos líquidos.

Cuando la temperatura ambiente está por debajo de los -5°C deben tomarse todas las precauciones indicadas y además, según sea el caso, deben poder mantenerse las estructuras artificialmente tibias mediante el uso de elementos calefactores durante el tiempo que sea indispensable, para obtener el crecimiento de resistencia necesario sin posibilidad de oscilaciones bruscas de la temperatura y humedad de la estructura.

No suspender la acción de los medios de protección hasta tanto no se tenga la certeza que los valores de resistencia estén acorde con las necesidades de seguridad y durabilidad de la estructura.

6.5 Materiales de protección

Dado que la mayor parte del calor de hidratación del cemento se genera durante los tres primeros días, puede no requerirse calentamiento por medio de fuentes externas, a fin de prevenir el congelamiento, si se logra retener el calor generado. Este calor generado puede retenerse usando mantas aislantes en la superficie, para que el aislamiento sea efectivo debe mantenerse en contacto con el hormigón o con la superficie del moldaje. Alguno de los materiales más usados son:

- Hojas de espumas de poliestireno: estas se pueden recortar en la forma deseada y fijar entre los pernos de los moldajes o colocarle mediante pegamento.

- Espuma de poliuretano: esta espuma se puede rociar en la parte exterior de los moldajes con el objeto de formar una capa aislante.

El empleo de esta espuma requiere de precaución ante la presencia de fuego, ya que, genera gases tóxicos.

- Fibra de celulosa o lana mineral: por lo general, están recubiertas por forros a polietileno para formar grandes tapetes o rollos. Se puede utilizar expandido para cubrir losas o plegadas para envolver elementos.
- Paja: se usa, pero presenta algunas desventajas tales como: voluminosidad, inflamabilidad, y la necesidad de protegerla de la humedad.
- Láminas de poliestireno expandido: existen de diversos espesores y densidades, son muy útiles para la protección de losas ante tiempo frío prolongado.
- Polietileno de embalaje: debido a que contiene burbujas de aire es muy buen aislante.
- Polietileno y arena: se usa en grandes superficies, como pavimentos, ya que da un curado que evita la evaporación y a su vez es térmico.

6.5.1 Selección de los aislantes.

Los registros de temperatura del hormigón revelan la efectividad de las distintas cantidades o clases de aislantes, para diversos tipos de obras de hormigón bajo diferentes condiciones climáticas.

Como se indicó anteriormente, el calor producido por la hidratación es muy alta durante los primeros días posteriores a la colocación y luego disminuye gradualmente conforme pasa el tiempo. Por lo tanto, para mantener una temperatura específica a lo largo del periodo de protección, la cantidad de aislamiento requerido es mayor para un período de protección largo que para un período más corto. Inversamente, para un sistema de aislamiento dado, el hormigón que se protege durante un período corto, por ejemplo 3 días puede exponerse a una temperatura ambiental más baja que el hormigón que vaya a protegerse durante un período más largo, por ejemplo 7 días.

Las esquinas y bordes son especialmente vulnerables durante un clima frío, por lo tanto, el espesor de los aislantes para esta parte debe ser cerca de tres veces el espesor que requiere para un muro o losa

- i. Frazadas de lana mineral que se adhieren a la superficie de los moldajes, con el fin de que este no pierda calor generado por la mezcla de hormigón



Figura 5.1, Lana mineral es buen aislante para mantener el calor de hidratación por mayor tiempo

- ii. Mantas aislante, estas cubre el pavimento y cumple con la misma función, evitar la perdida de calor.



Figura 5.2, Estas mantas aislantes tienen una mayor densidad por ello más eficiente en la retención del calor de hidratación

- iii. La zapata esta siendo cubierta por una lona alquitranada, con el fin de retener el calor generado por la hidratación.



Fig. 14-8. Concrete footing pedestal being covered with a tarpaulin to retain the heat of hydration. (69870)

Figura 5.3, esta manta alquitranada es a un mejor que los materiales antes señalados

- iv. El pavimento esta siendo protegido por una lámina de

polietileno con burbuja de aire.



Figura 5.2, Estas mantas aislantes tienen una mayor densidad por ello mas eficiente en la retención del calor de hidratación

Capítulo 7

7.0 Lesiones típicas en el hormigonado en tiempo frío.

7.1 Generalidades.

Las lesiones o problemas que se mencionaran en este capítulo serán las que tienen directa relación con las bajas temperaturas o los hormigones que pudieran verse expuestos a ciclos de hielo y deshielo.

7.2 Elaboración.

En la elaboración podemos apreciar posibles problemas si no se respetan los procedimientos o se toman en cuentas las precauciones que ahora se señalaran. dentro del proceso de elaboración esta la selección de los agregados, donde a estos se les debe retirar todo tipo de hielo o congelamiento al cual haya sido expuesto, por que así, la temperatura deseada del hormigón durante la mezcla puede obtenerse ocasionalmente mediante el calentamiento sólo del agua de mezclado, además, cabe señalar que en caso de quedar algún resto de hielo en el agregado este modificara las cantidades de agua que se encuentren en el interior de la mezcla produciendo una modificación en la relación de agua / cemento.

En consiguiente, cuando el agua de amasado se encuentra caliente, no es recomendable mezclarla en forma inmediata con el cemento, porque se pueden ocasionar grumos haciendo el mezclado de los elementos mas difícil. Por esto es recomendable cuando el agua tenga una temperatura superior a los 80 °C, puede ser necesario ajustar el orden de mezclado de los

ingredientes, se debe colocar en primer lugar $\frac{3}{4}$ partes de agua caliente, ya sea antes de los agregados o junto con ellos, con el fin, de prevenir que se aglomeren en el fondo de la betonera, los agregados gruesos deben cargarse primero y el cemento después de los agregados, como parte final se debe colarse el $\frac{1}{4}$ de agua restante con una rapidez moderada.

7.3 Colocación y curado del hormigón.

Los cuidados que se deben tener en la colocación del hormigón son los señalados en el capítulo nº3, como por ejemplo que no existan las protecciones adecuadas en el momento de hormigonar y donde el hormigón se puede ver expuesto a un ciclo de hielo y deshielo.

7.3.1 Ciclos de hielo y deshielo.

Un ciclo hielo-deshielo es un evento de congelamiento y posterior deshielo del agua contenida en el hormigón o mortero endurecido en un período de tiempo determinado. Los ciclos hielo-deshielo son un fenómeno común en la naturaleza, debido al cambio propio en la temperatura ambiente en zonas que registran tiempo frío.

La exposición a ciclos hielo-deshielo es una sollicitación severa a la durabilidad del hormigón. Por medio de una serie de mecanismos complejos, el efecto cíclico de congelamiento y deshielo del agua al interior del hormigón en servicio puede destruir su estructura.

El mecanismo de deterioro del hormigón por efecto de ciclos hielo-deshielo es un proceso muy complejo, que aún en la actualidad es tema de

investigación. La teoría más extendida atribuye el daño a la presión ejercida al interior de los poros de la pasta de cemento por el aumento de volumen del agua al congelarse (incremento cercano al 9%). Esta presión causa la ruptura de la pasta endurecida, acrecentando microfisuras existentes y creando otras nuevas. Con el deshielo el agua se trasladaría a estas microfisuras. Por el mismo proceso, una posterior congelación causaría nuevo daño en las zonas debilitadas, registrándose un deterioro acumulativo que puede resultar en la destrucción parcial o total del hormigón.

El contenido de humedad del hormigón al momento del congelamiento es un factor fundamental en la magnitud del daño. Al aumentar el contenido de humedad existirá más agua disponible para congelarse, por lo que el daño será mayor.

En la mayoría de los casos, el congelamiento de los áridos no es relevante en el daño al hormigón. El deterioro se produce principalmente por el congelamiento de la pasta de cemento.

La principal medida es formar en el hormigón un sistema de poros en la pasta de cemento de adecuados tamaños, distribución y espaciamiento. Esto se logra mediante la incorporación de aire a través de aditivos especializados durante la fabricación de la mezcla.

La adecuada incorporación de aire en el hormigón creará un sistema de microburbujas que actúan como reservorios para la acumulación de hielo, evitando así la presión en la pasta de cemento por el aumento de volumen del agua al congelarse.

En consiguiente, No todo hormigón con aire incorporado es inmune. Se ha comprobado que hormigones de adecuada calidad y dosis de aire incorporado han sufrido deterioro en condiciones de saturación permanente y severa exposición al congelamiento.

Toda estructura de hormigón expuesta a ciclos hielo-deshielo puede sufrir daño. Sin embargo, por sus características de superficie expuesta, son los pavimentos los elementos más susceptibles al deterioro (aceras, calzadas, pavimentos industriales, losas sobre terreno, etc.). El comportamiento del hormigón frente a ciclos hielo-deshielo es muy difícil de predecir, por lo que se recomienda recopilar información del desempeño de estructuras existentes en el área y llevar a cabo hormigones de prueba en condiciones similares a las de construcción.

Las principales recomendaciones para fabricar un hormigón durable a ciclos hielo-deshielo son las siguientes:

1.- Adecuada incorporación de aire.

El uso adecuado de aditivos incorporadores de aire formará un sistema de microburbujas en el hormigón fresco que debe permanecer luego de endurecido. Estos poros actúan como recipientes para la acumulación de hielo y agua, aliviando la presión en la pasta de cemento por aumento de volumen del agua al congelarse. Por ello, el código ACI201.2R recomienda incorporar las siguientes cantidades de aire en el hormigón, según el tamaño máximo del árido y el grado de exposición a ciclos hielo-deshielo:

Tamaño máximo nominal del árido	Contenido de aire (%)	
	Exposición severa	Exposición moderada
3/8" (10 mm)	7.5	6.0
1/2" (12.5 mm)	7.0	5.5
3/4" (20 mm)	6.0	5.0
1" (25 mm)	6.0	5.0
1 1/2" (40 mm)	5.5	4.5

Cuadro 7.1, Contenidos de aire recomendados para hormigones resistentes al congelamiento

Los valores recomendados se refieren al contenido total de aire en el hormigón.

Exposición severa se refiere al hormigón que estará a la intemperie en clima frío y que pueda estar permanentemente húmedo antes del congelamiento, o cuando se usen sales descongelantes (ej. pavimentos, losas de puente, aceras, estanques de agua).

Exposición moderada se refiere al hormigón que estará a la intemperie en clima frío y expuesto sólo ocasionalmente a humedad antes del congelamiento, o cuando no se usen sales descongelantes (ej. vigas, algunos muros exteriores, losas sin contacto permanente con el terreno).

La norma NCh170 recomienda usar valores de exposición moderada. Además, permite reducir el contenido recomendado de aire en un 1% si el hormigón posee grado superior a H35.

El contenido de aire medido en terreno debe estar en el rango $\pm 1.5\%$ del valor recomendado.

La incorporación de aire debe realizarse en forma controlada. Es muy importante contar con experiencia o asesoría técnica, ya que altos contenidos de aire reducirán drásticamente la resistencia y bajos contenidos no proveerán suficiente resistencia al congelamiento.

2.- Fabricar hormigones de baja relación Agua/Cemento (A/C).

La relación Agua/Cemento es un factor relevante en la resistencia a ciclos hielo-deshielo. La norma NCh170 especifica los siguientes valores máximos:

Tipo estructura	Estructura continua o frecuentemente Húmeda expuesta a hielo-deshielo
• Secciones delgadas ($e < 20$ cm), con recubrimiento menor a 2 cm o expuestas a agentes descongelantes	0.45
• Toda otra estructura	0.50

Cuadro 7.2, Razón agua/cemento máximas para hormigones expuestos al congelamiento, según ACI306-1

3.- Usar áridos de calidad.

La fabricación de hormigones con áridos de buena calidad es siempre beneficioso para la durabilidad. Sin embargo, en el caso de hormigones expuestos al congelamiento será de gran importancia usar áridos de menor tamaño máximo, alta densidad, baja absorción, bajo contenido de finos, sin materia orgánica ni partículas dezmenezables y con alta resistencia a la desintegración y al desgaste.

4.- Adecuado curado antes del primer congelamiento.

- Un buen curado es fundamental para reducir el agua disponible a congelarse en la pasta.
- Como curado se recomienda un período de secado moderado.

- Un hormigón saturado con aire incorporado no debe ser expuesto al primer congelamiento hasta alcanzar una resistencia a compresión de 45 kg/cm².
- Un hormigón saturado con aire incorporado debe poseer una resistencia a compresión de al menos 260 kg/cm² antes de ser sometido a una exposición moderada a ciclos hielo-deshielo. Para una exposición severa, debe poseer una resistencia de al menos 330 kg/cm².

5.- Diseño de estructuras que minimice la humedad.

La vulnerabilidad al daño aumenta en forma drástica con el contenido de humedad del hormigón. Por ello, en estructuras expuestas a ciclos hielo-deshielo es fundamental contar con adecuado diseño de drenajes, eliminar juntas innecesarias, proteger pavimentos de la humedad de la sub-base y evitar el agrietamiento.

6.- Adecuadas prácticas constructivas.

Buenas prácticas constructivas son esenciales para fabricar hormigones resistentes al congelamiento. En particular se debe evitar la adición de agua y excesivo trabajo en la terminación superficial, y el sobrevibrado del hormigón que puede eliminar el aire intencionalmente incorporado.

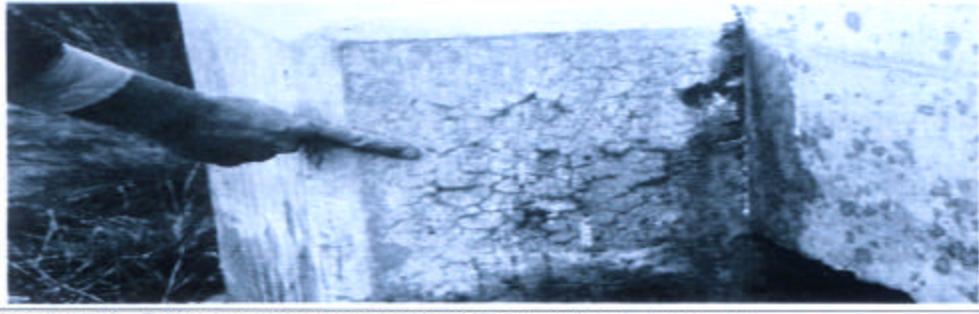


Figura 7.1, Daños producidos por ciclos de hielo y deshielo



Figura 7.2, Daños producidos por ciclos de hielo y deshielo

- 1.-Separación de los agregados de la pasta
- 2.-Primeros indicios de cristalización producida por hielo.
- 3.-Fractura en el borde inferior de las probetas. Donde es más susceptible a congelarse.

7.3.2. Carbonatación de la superficie.

Cuando se protege el hormigón mediante generadores de aire caliente en espacios cerrados se introduce un elemento de riesgo en el proceso, los riesgos son del dióxido de carbono del aire calentado; este elemento es producido por los calentadores de fuego directo, que calientan el aire aspirado conforme éste pasa por la fuente de calor. El aire calentado contiene monóxido de carbono y dióxido de carbono. En una área encerrada y sin ventilación donde operan estos generadores de aire caliente, pueden esperarse altos niveles de monóxido de carbono que amenacen la seguridad de los trabajadores y del dióxido de carbono que dañe así al hormigón fresco. El dióxido de carbono reacciona con el hidróxido de calcio en el hormigón y forma carbonato de calcio, es decir, se produce una superficie débil y propensa a la pulverización (superficie polvorosa).

En consiguiente, es recomendable si se trabaja con generadores de aire caliente existan una buena ventilación del área una cerca del suelo y otra cerca del techo así con esto se proporcionaría un flujo de aire necesario. O la otra forma sería utilizando los generadores de aire caliente en forma indirecta y que salen denotados en el capítulo III, de esta tesis.

7.3.3. Fisuración en el hormigón.

La fisuración de un hormigón se produce cuando las tensiones solicitantes sobrepasan la resistencia del hormigón. Debido a que la resistencia a tracción del hormigón es más baja, comparativamente, que la resistencia a compresión o al corte, generalmente la fisuración deriva de las tensiones de tracción.

Las tensiones de tracción pueden tener dos orígenes básicos: las solicitaciones estructurales y las deformaciones por causa de la retracción hidráulica y térmica.

La fisuración derivada de la retracción hidráulica y térmica depende de factores externos que tienen un cierto nivel de manejo en la etapa de diseño o de construcción, lo cual permite establecer el campo de actuación de los distintos actores en relación con el riesgo de fisuración de las estructuras.

La fisuración causada por la retracción hidráulica deriva de la deformación endógena que sufre todo hormigón durante el proceso de endurecimiento. Esta deformación, llamada retracción hidráulica, constituye una contracción si el ambiente en el cual se mantiene el hormigón no está saturado de humedad y una dilatación en el caso contrario, siendo esta segunda de mucho menor magnitud que la primera.

En consecuencia, para que esta deformación pueda generar tensiones de tracción, es necesario que la estructura esté en un ambiente seco. Pero, además, la estructura tiene que estar restringida para deformarse, pues si está libre no se tensiona.

Finalmente, la magnitud de las tensiones generadas queda determinada también por la magnitud de la contracción producida, que depende de dos componentes:

a) De la pérdida de agua de amasado del hormigón por evaporación hacia la atmósfera.

Por su origen, esta componente de la contracción aumentará para una mayor dosis de agua del hormigón y para una menor humedad ambiente.

b) La contracción endógena de la pasta de cemento, que proviene de la reacción química de endurecimiento.

Por la forma en que se origina, esta componente es mayor para una mayor dosis de cemento y también para una menor humedad ambiente.

Por efecto de la retracción hidráulica sería necesario controlar la humedad ambiente, existiendo además otros factores que aquí no se mencionaran.

El control de la humedad ambiente, en el sentido de evitar pérdida de humedad por parte del hormigón, sólo puede ser efectuado durante el período de curado del hormigón. Este período, por razones prácticas de construcción, es siempre limitado a valores que no exceden de una a dos semanas, lo cual es aceptado por la normalización y las especificaciones internacionales unánimemente, previéndose sólo una prolongación de este plazo en caso de temperaturas bajo 0°C.

En consecuencia, este aspecto es de responsabilidad del constructor hasta el límite de período de curado especificado. Sobre este período, es responsabilidad del proyectista una definición de mayor duración que la habitualmente especificada.

Por la fisuración derivada de la retracción térmica de las estructuras en el hormigón existen dos causales de variación de su temperatura:

- a) Las variaciones de la temperatura ambiente.
- b) El calor generado por la hidratación de la pasta de cemento.

Ambos efectos tienen características comunes, que consisten en que ellas producen gradientes que varían desde el interior hacia las superficies del elemento y, además, que su evolución en el tiempo depende de las dimensiones de éste.

La primera puede generar una contracción o una dilatación según sea la evolución de la temperatura ambiente, y su magnitud depende de la variación que alcance la temperatura ambiente. En tanto, el calor de hidratación genera un aumento de temperatura en la parte central del elemento, generando una gradiente hacia las superficies externas del elemento. Este aumento de temperatura en el centro del elemento llega a un máximo, que depende del tipo y de la dosis de cemento y, posteriormente, descende, entonces se deduce que para controlar la fisurabilidad, sería necesario controlar los siguientes factores:

- Por efecto de la retracción térmica
 - a) Variaciones de la temperatura ambiente
 - b) Tipo de cemento
 - c) Dosis de cemento

Variaciones de la temperatura ambiente.

En relación con este aspecto deben distinguirse dos situaciones:

a) La incidencia de la temperatura del día en el momento de la colocación del hormigón. Esta incide sólo superficialmente, por lo que tiene importancia sólo en los primeros días de vida de la obra.

b) La incidencia de las variaciones de la temperatura anual en el período de construcción. Esta tiene una incidencia general más acentuada, pues su influencia alcanza mayor profundidad en la estructura. Por su parte, el control de la temperatura a través de la elección de la época más favorable del año, no es factible de consideración desde un punto de vista práctico, pues significaría plazos y costos de construcción significativamente mayores. Por estos motivos, puede establecerse que no existe posibilidad de manejo de este parámetro por parte del constructor, debiendo considerarse como parte del diseño en conjunto con la disposición estructural de juntas de contracción.

Tipo de cemento.

El tipo de cemento puede ser elegido voluntariamente por el constructor. Este factor influye principalmente en la velocidad de evolución de la retracción térmica e hidráulica en los primeros días, pero no en la magnitud final del valor máximo alcanzado.

Desde este punto de vista, la diferencia de la elección de un cemento corriente frente a uno de alta resistencia en el valor global de la retracción térmica e hidráulica no es mayor de un 5% en su punto de mayor incidencia.

Dosis de agua del hormigón

Para un hormigón adecuadamente dosificado, la dosis de agua queda condicionada por la trabajabilidad (asentamiento de cono) que se le desea dar al hormigón. Este, a su vez, depende del método de colocación del hormigón, el cual es de responsabilidad del constructor.

Los métodos gravitacionales de colocación (vaciado directo, descarga desde capacho y similares) requieren menores asentamientos de cono que, por ejemplo, la bomba de hormigón. De manera que, desde el punto de vista de la retracción hidráulica es conveniente dar preferencia a los primeros. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que esta elección no puede ser hecha libremente, pues, al elegir el método de colocación por razones distintas a las constructivas, se condiciona también el costo y el plazo de ejecución. Por otra parte, la diferencia de dosis de agua y cemento que significa la elección de uno u otro método repercute en un aumento de hasta un 3 a 5% en el valor de la retracción hidráulica, de manera que su influencia es de esa magnitud.

Dosis de cemento.

Una vez definida la dosis de agua, la dosis de cemento queda condicionada por la resistencia especificada para el hormigón o, eventualmente, por la exigencia de una dosis mínima por condiciones de durabilidad.

En consecuencia, este factor depende básicamente de las exigencias de diseño y el constructor sólo incide indirectamente a través de la definición de la trabajabilidad del hormigón.

Avoiding Frost Damage

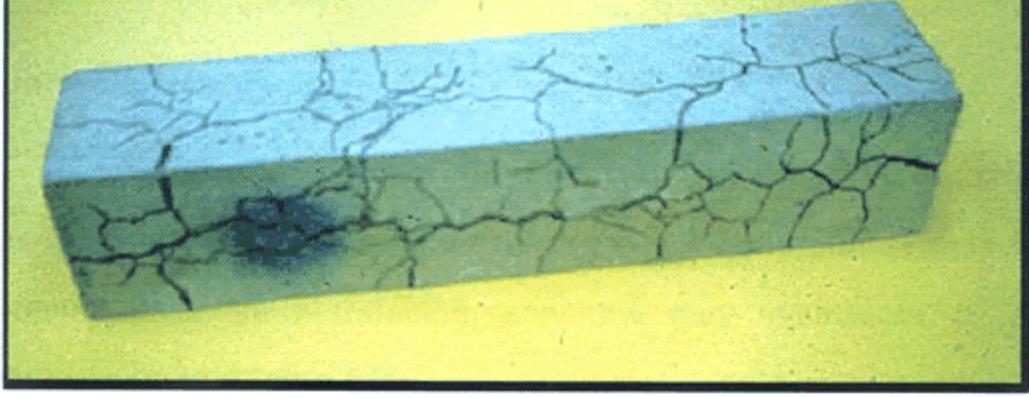


Fig.7.3. Probeta fisurada alrededor de su contorno, producido por la retracción hidráulica y térmica.

CAPITULO 8

8.0 Ensayo Practico de toma de Temperaturas a Pastas de Cemento.

8.1 Introducción.

Siempre al realizar un hormigón, la reacción química entre el cemento y el agua al mezclarse genera energía, esta se le denomina calor de hidratación, concepto muy importante en el hormigonado en tiempo frío, por que gracias a este calor generado que opone una resistencia a la temperatura de congelación es que el hormigón que alcance una resistencia de al menos 35kg/cm^2 puede soportar un ciclo simple de hielo/deshielo. Ahora se entiende que la cantidad de cemento en el hormigón es directamente proporcional a la temperatura generada por el calor de hidratación.

8.2 Objetivo.

Conocer las temperaturas iniciales que genera la reacción química entre el cemento y el agua de amasado (pasta de cemento), y en consiguiente obtener conclusiones

8.3 Materiales.

En la confección de las cuatro muestras, se utilizaron los siguientes materiales:

- a) Cemento Pórtland grado corriente, marca “melón”.
- b) Cemento Pórtland grado alta resistencia, marca “melón extra”.
- c) Acelerador de fraguado sika nº2.
- d) Pesa electrónica

e) Termómetro.

f) Posillos donde fue elaborada la pasta.

8.4 Desarrollo.

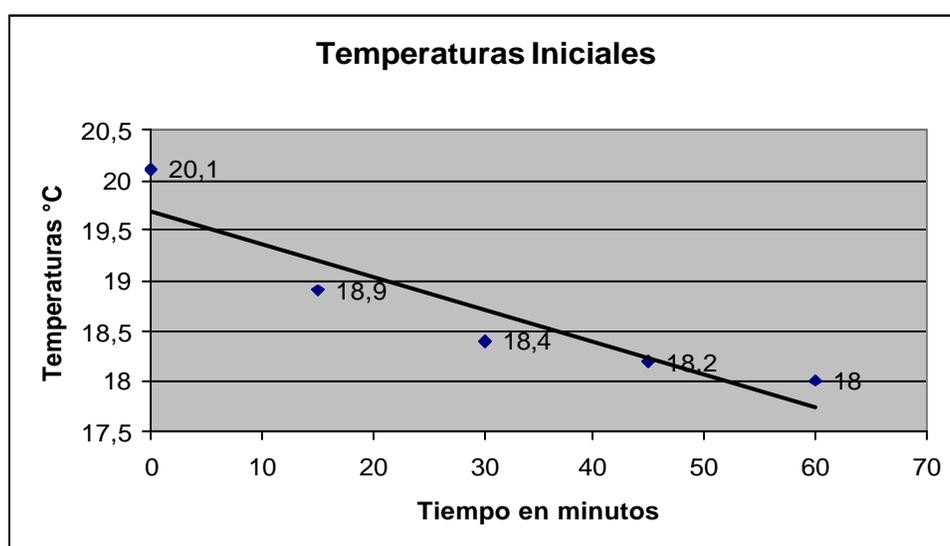
Se elaboraron cuatro muestras, el día 12 de noviembre de año 2003, donde la temperatura máxima del día fue de 18°C cada una de estas muestras con una relación de agua/cemento igual a 0,35. Ahora esta relación fue tomada bajo el criterio de su mínima cantidad de agua, por que de acuerdo a lo expuesto en esta tesis se recomienda una mínima razón de agua cemento, en virtud de disminuir los riesgos de congelación y menor exudación que debe tener el agua de amasado. La configuración de las muestras y su denominación será la que se indica a continuación.

8.4.1 Muestra 1

Esta se le denominara "muestraN^o1" y se confeccionara con cemento Pórtland grado corriente y agua, en una relación agua/cemento que se menciona anteriormente. De acuerdo a lo anterior, se utilizo 500gr. de cemento y 175 cm³. de agua.

La muestra N^o1 fue elaborada a las 12³³ hrs. la temperatura ambiente, era de 20°C. y a continuación se muestran las temperaturas iniciales de la pasta.

Tiempo,	Temperaturas,
00	20,1
15	18,9
30	18,4
45	18,2
60	18

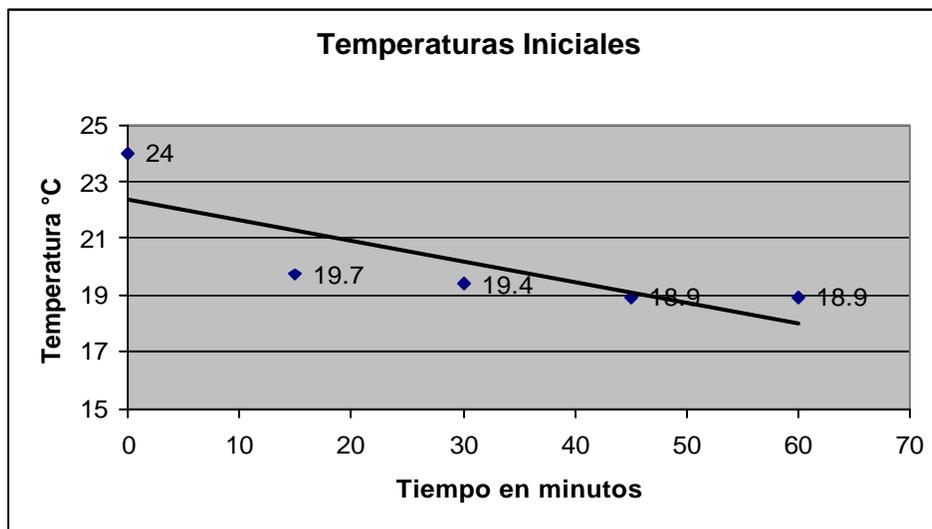


8.4.2 Muestra 2

Esta se le denominara "muestraN^o2" y se confeccionara con cemento Pórtland grado alta resistencia y agua, en la misma relación agua/cemento que la "muestraN^o1", de acuerdo a lo anterior, se utilizo 500gr., de cemento y 175cm³. de agua.

La muestra N^o2 fue elaborada a las 12⁵⁰ hrs. la temperatura ambiente, era de 18,5°C. y a continuación se muestran las temperaturas iniciales de la pasta.

Tiempo, minutos	Temperatura, °C
00	24
15	19,7
30	19,4
45	18,9
60	18,9

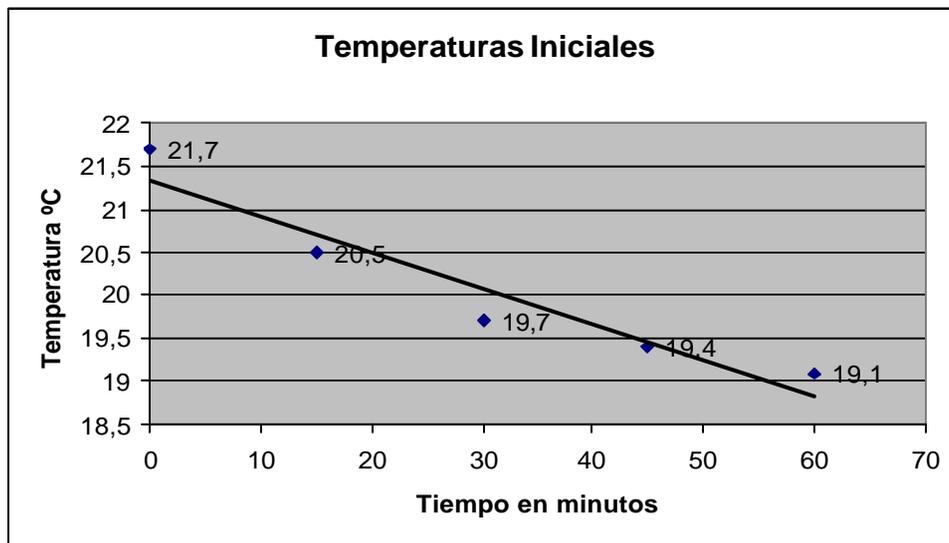


8.4.3 Muestra 3

Esta muestra se le denomina “muestraN°3” y se confeccionara con cemento Pórtland grado corriente, agua y acelerador de fraguado, en la misma relación agua/cemento que la “muestraN°1”, de acuerdo a lo anterior, se utilizo 500gr. de cemento, 131cm³ de agua más 44cm³ de acelerador de fraguado.

La muestra N°3 fue elaborada a las 14³⁰ hrs. la temperatura ambiente, era de 18,8°C. y a continuación se muestran las temperaturas iniciales de la pasta.

Tiempo, minutos	Temperatura,°C
00	21,7
15	20,5
30	19,7
45	19,4
60	19,1

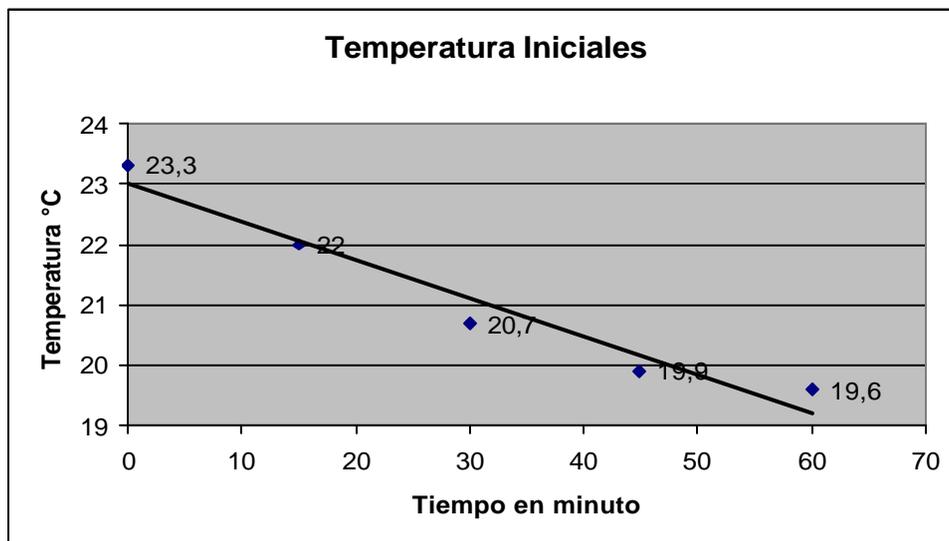


8.4.4 Muestra 4

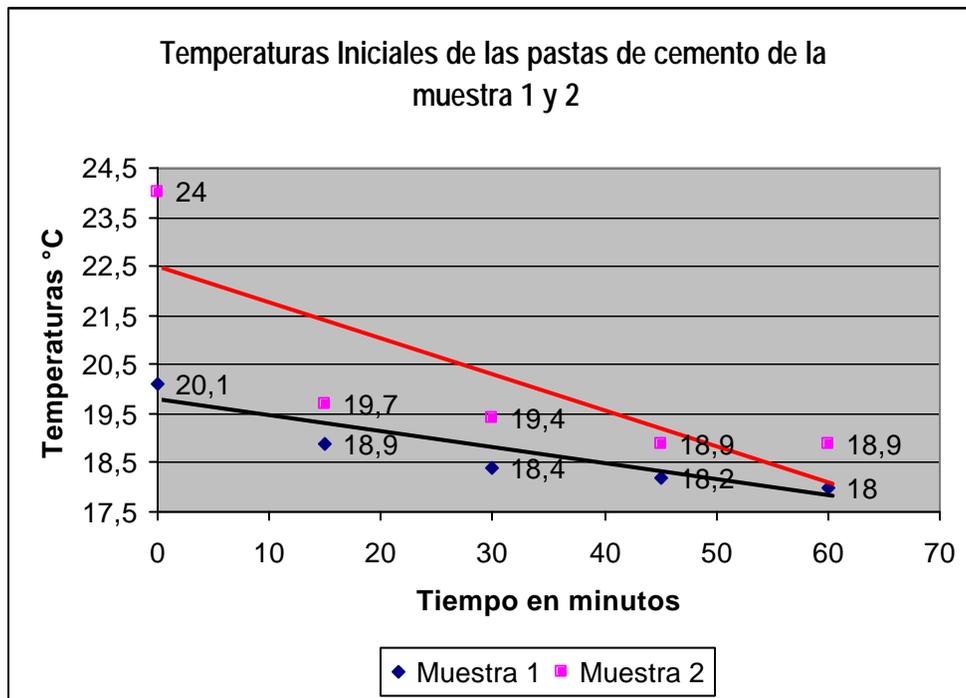
Esta muestra se le denomina "muestraN°4" y se confecciona con cemento Pórtland grado alta resistencia, agua y acelerador de fraguado, en la misma relación agua/cemento que la "muestraN°1", de acuerdo a lo anterior, se utilizó 500gr. de cemento, 131cm³ de agua más 44cm³ de acelerador de fraguado.

La muestra N°4 fue elaborada a las 14⁵² hrs. la temperatura ambiente, era de 18,8°C. y a continuación se muestran las temperaturas iniciales de la pasta.

Tiempo, minutos	Temperatura, °C
00	23,3
15	22,0
30	20,7
45	19,9
60	19,6

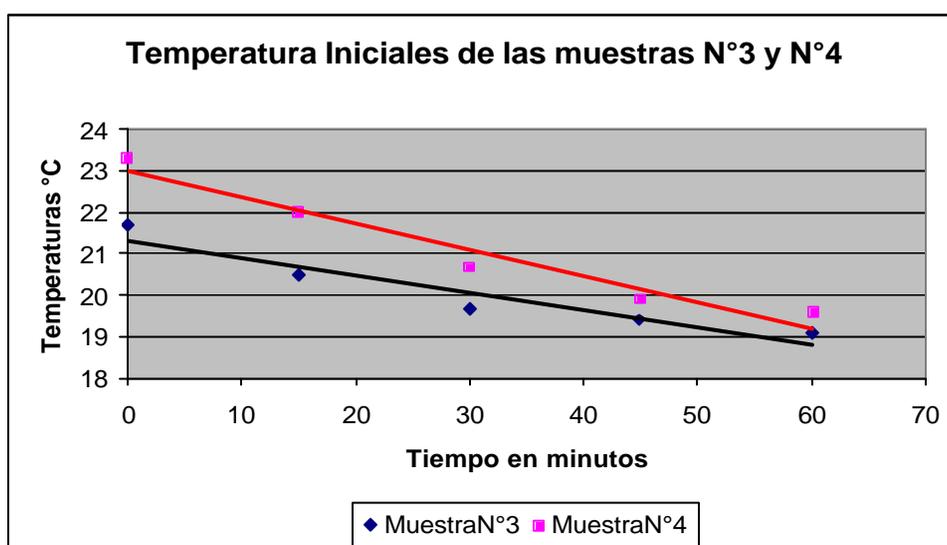


8.5 Conclusiones.



Al establecer una comparación de temperatura inicial entre la muestra N°1 y la muestra N°2, se aprecia claramente que la temperatura de la primera es menor con respecto a la segunda. Ahora esto resulta posible porque se utilizó diferentes tipos de cemento, cemento grado corriente en el primero y alta resistencia en el segundo, por lo tanto, podemos concluir que, el tamaño del grano o partícula del cemento de alta resistencia es mucho menor que la del cemento de grado corriente y que de acuerdo a esto la reacción química o proceso de fundición, entre el cemento y el agua es de mayor velocidad que la reacción química entre el agua y el cemento de grado corriente si utilizamos un cemento de alta resistencia en un ambiente no controlado o no protegido, esto nos significaría un calor de hidratación mucho mayor que el cemento corriente, cuya ganancia es importante a la hora de atenuar el frío que supuestamente puede rodear al elemento hormigonado y así

poder alcanzar una resistencia mínima de 35kg/cm^2 con la cual es posible resistir un ciclo de hielo y deshielo. Además de obtener la resistencia de diseño en menor tiempo que el hormigón elaborado con cemento corriente, cuyos beneficios resultan importantes a la hora de trabajar bajo condiciones de hormigonado en tiempo frío.

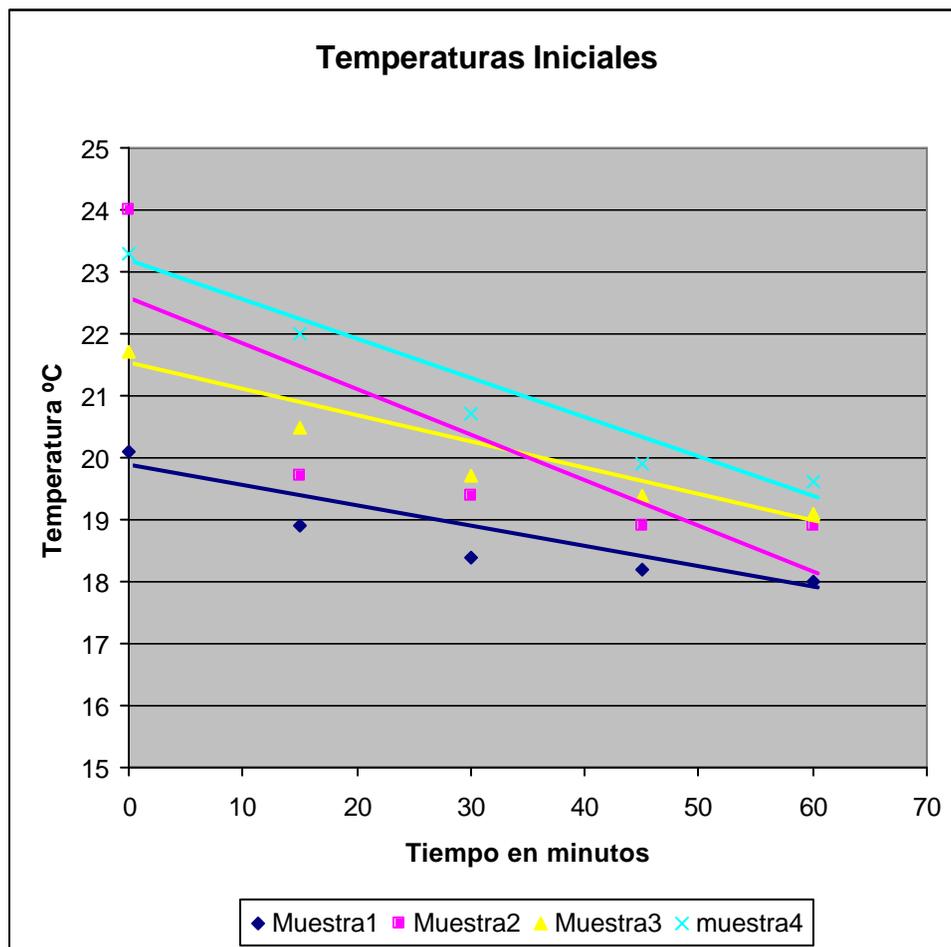


Al establecer la siguiente comparación entre la muestra N°3 y muestra N°4, que a diferencia con las muestras anteriores, estas no contenían acelerador de fraguado (Sika N°2).

Podemos establecer entonces, que la diferencia entre las temperaturas iniciales entre las muestras N°3 y N°4, siguen siendo diferentes, por que estas se confeccionaron con cementos de distinto grado. Corriente en la muestra N°3 y alta resistencia en la muestra N°4, no se aprecia un aumento de temperatura por la inclusión del acelerador de fraguado, posiblemente se debe a un bajo contenido de este, en la pasta cuya relación agua/cemento era de 0,35, y donde se utilizo del total de la porción de agua correspondiente solamente una $\frac{1}{4}$ parte de acelerador de fraguado y $\frac{3}{4}$ parte de agua.

También puede haberse debido al volumen de la pasta,

para cuyo contenido de acelerador resultaba irrelevante, pero si se pudo apreciar en el momento del control de la temperatura a estas muestras que el endurecimiento fue mucho mas rápido que las muestras N°1 y muestra N°2, por otro lado, también sirve para entregar una resistencia mínima lo antes posible, que sirve para confrontar un ciclo de hielo y deshielo.



Finalmente, estableciendo como conclusión queda a opción del diseñador de hormigones, el utilizar un cemento de grado corriente o grado alta resistencia, haciendo previamente un análisis costo/beneficios. Donde el primero posiblemente le otorgue un menor costo en la elaboración del hormigón, pero el tiempo de fraguado es mucho mayor que el cemento de grado alta resistencia.

Capítulo 9

CONCLUSIONES.

El desarrollo de esta tesis, apunta a conocer sobre el tema de hormigonado en tiempo frío, concepto por el cual entenderemos como: selección del material, elaboración del hormigón, colocación del hormigón y curado del hormigón y entregar un punto de vista personal para que así una persona que no conozca sobre el tema pueda tener una idea y crearse un criterio para enfrentar el tema.

De acuerdo a lo investigado, se puede mencionar como la importancia de la buena selección del material a emplearse para la elaboración del hormigón para el tiempo frío, es que esté presente las mejores condiciones técnicas para afrontar las condiciones climáticas, es por ello, que los áridos deben cumplir las características convencionales para los hormigones elaborado y colocados en un clima normal (sobre 5°C) y más aun deben presentar características especiales para un hormigón en tiempo frío, como por ejemplo Las condiciones de trabajabilidad (condiciones de granulometría, contenido de granos finos, etc.), condiciones de resistencia propia (resistencia a la abrasión, partículas blandas, etc.) y por ultimo condiciones de estabilidad físico-químico. (Inalterabilidad: ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado de la pasta, ciclos alternados de temperatura y humedad. Especialmente ciclos alternados de temperatura bajo y sobre cero, etc.), estas condiciones son importantísima, porque para retirar la escarcha, exceso de hielo o elevar la temperatura de la grava para así poder obtener una

temperatura determinada de la mezcla de hormigón y por todo esto y aun más, es que los áridos deben presentar buena resistencia a los cambio de temperaturas. Otro punto importante es también la elección de los aditivos que se agregaran a esta mezcla de hormigón, esto dependerá del tipo de protección que el hormigón requiera, de acuerdo a las condiciones de tiempo bajo las cuales se coloque el hormigón, por que eventualmente puede ocurrir que llegue una onda polar donde la temperatura baja hasta menos dos grados celsius por un periodo de tiempo de uno o dos días, lo cual no justifica por costo directo asociado a la elaboración del hormigón implementar una protección como si se estuviera hormigónando siempre bajo temperaturas de cero grados Celsius. Por lo tanto, quiero decir que solamente agregándole un incorporador de aire y protegiendo el hormigón de los cambio de temperatura es suficiente para enfrentar una onda polar de carácter pasajera.

En cuanto al cemento, mencionare que este no depende del factor clima, es decir, no por que exista un clima determinado se deberá ocupar un cemento especifico, pero si, se pueden obtener ventajas entre un cemento de grado corriente y otro de alta resistencia, solo en condiciones muy extremas de temperaturas bajas, estas ventajas redundan en el orden económico, por que al utilizar un cemento de grado alta resistencia este acortara el periodo de protección ya que este se encontrara más prontamente preparado para afrontar las bajas temperaturas, caso contrario ocurre con un cemento de grado corriente y así también, queda demostrado en las tomas a las temperaturas de las pastas de cemento realizado en esta tesis, donde se muestran en los gráficos

que las temperaturas iniciales de los cemento de alta resistencia son mayores que las temperaturas iniciales de los cemento de grado corriente, como lo es el cemento portland.

En cuanto a la elaboración del hormigón, la dosificación es recomendable que se utilice una baja relación agua/cemento, porque así se minimizara la exudación del hormigón ya que esta al aflorar hacia el exterior produce permeabilidad en el hormigón, donde tiempo mas tarde puede entrar agua y así consecutivamente enfrentarse a una presunta onda polar o baja de temperatura y en consecuencia que el agua en el interior del hormigón se congele produciendo así daño al este. También es recomendable preocuparse que los materiales no contengan escarcha o exceso de hielo, debido a que, produce una alterabilidad en el contenido de agua de amasado y en consecuencia en la resistencia del hormigón, lo cual se puede quitar calentando los materiales. Además, es importante tratar de igualar la temperatura de los materiales para tal caso, porque así, una temperatura menor en un material como por ejemplo; arena o ripio, etc. Puede quitar cantidad de energía o potencia al calor de hidratación, por lo tanto, se recomienda calentar el agua aproximadamente a unos 60°C y colocar los materiales en la betonera en el siguiente orden, $\frac{3}{4}$ partes de agua caliente, esta se puede agregar junto con los agregados gruesos o después de ellos, enseguida se agregara el cemento y finalmente la $\frac{1}{4}$ parte restante de agua.

En la etapa de colocación del hormigón, se deben tener las precauciones en los elementos metálico, es decir, armaduras, pletinas, etc., que estos tengan una temperatura más o menos igual a la temperatura que tendrá el hormigón al momento de ser

colocado, porque en las zonas donde exista contacto con el metal puede producirse un falso fraguado, debido a que, la temperatura del metal disminuirá el calor de hidratación y retardará significativamente el tiempo de fraguado del hormigón, y produciéndose una no adherencia total con el metal y también disminuyendo la resistencia en la zona afectada. Ahora las condiciones para poder descimbrar las losas o muros deben ceñirse de acuerdo a lo señalado en esta tesis que fue determinado de acuerdo a la norma NCh170of85 y más aun si, las condiciones climáticas son severas se solicita además que se realice una comparación con las curva “resistencia v/s madures” o cualquier otro método recomendado por las normas para poder determinar resistencia de los elementos hormigonado con el objeto de poder tener una aproximación de la resistencia de ese hormigón.

Ahora, es recomendable que una vez descimbrado es bueno seguir protegiendo el hormigón para que no se vea afectado por ciclos de hielo/deshielo, lo cual puede producir fisuras de carácter leve que son similares a las fisuras de retracción e hidratación, solo que estas se producen por introducción de agua por capilaridad en el hormigón, la cual, al verse enfrentada a una temperatura bajo cero el agua se congelara, afectando así a las zonas mas débiles de los elementos de hormigón, que son las esquinas, bordes y en general las primera zonas expuestas a la temperaturas bajas, y las cuales se deben proteger.