

259
2 eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EL CURADO DEL CONCRETO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JORGE ALBERTO HERNANDEZ CARDENAS

ASESOR DE TESIS: JORGE DE ALBA CASTAÑEDA

**FACULTAD DE
INGENIERIA**



1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-165/93

Señor
JORGE ALBERTO HERNANDEZ CARDENAS
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JORGE DE ALBA CASTAÑEDA** que aprobó esta dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"EL CURADO DEL CONCRETO"

- I. INTRODUCCION
- II. TIPOS DE CURADO
- III. PROCEDIMIENTOS DE CURADO
- IV. NORMAS PARA EL CURADO DEL CONCRETO
- V. USOS Y COSTOS DEL CURADO
- VI. CONCLUSIONES
- VII. BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 19 de octubre de 1993.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/RCR*meem

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TEMA DE TESIS

EL CURADO DEL CONCRETO

DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE H. DE ALBA CASTAÑEDA.

ALUMNO: JORGE ALBERTO HERNANDEZ CARDENAS.

FECHA: 7 DE ABRIL DE 1994.

**LE DOY GRACIAS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO POR
HABERME DADO LA OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR EN SU CAMPUS, Y FORMARME
COMO PROFESIONISTA.**

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA POR LA ALTA CALIDAD EDUCATIVA QUE TIENE,
SIENDO CON ESTO UNA FORMADORA DE GRANDES HOMBRES PARA EL DESARROLLO
DE MEXICO.**

**A LOS PROFESORES DE LA FACULTAD, QUE VIERTEN SUS CONOCIMIENTOS Y
EXPERIENCIA EN NOSOTROS PARA DARNOS UNA FORMACION MAS COMPLETA, LAS
CUALES NOS SERVIRAN PARA DESARROLLAR MEJOR NUESTRA LABOR COMO
INGENIEROS.**

**A MIS PADRES JORGE RAUL Y MARIA CONCEPCION POR HABERME DADO SU
CARIÑO, APOYO Y ENSEÑANZAS DURANTE TODA MI VIDA PARA SUPERARME Y HABER
CONFIADO EN MI, A ELLOS GRACIAS.**

**A MIS ABUELOS, ORALIA, RITA Y ANTONIO LOS CUALES ME HAN APOYADO EN TODO,
A LO LARGO DE MI EXISTENCIA.**

A MI PRIMO HERIBERTO POR SER UN GRAN AMIGO.

**LE DOY GRACIAS A TODOS AQUELLOS QUE ME HAN AYUDADO PARA LA
ELABORACION DE ESTE TRABAJO.**

A MI NOVIA SHEILA POR DARME SU APOYO Y CARIÑO.

INDICE

	Pag.
INTRODUCCION	5
 <u>CAPITULO I</u>	
ANTECEDENTES	7
I.1 DEFINICION DEL CURADO	15
 <u>CAPITULO II</u>	
TIPOS DE CURADO	25
II.1.- CURADO TRADICIONAL	26
II.2.- CURADO A VAPOR	26
II.2.1.- A BAJA PRESION O PRESION ATMOSFERICA	29
II.2.2.- EN AUTOCLAVE O ALTA PRESION	33
II.3.- CURADO CON ELECTRICIDAD	36
II.4.- CURADO POR MEMBRANAS QUIMICAS	42

CAPITULO III

PROCEDIMIENTOS DE CURADO.

III.1.- CURADO TRADICIONAL.....	49
III.2.- CURADO A VAPOR.....	49
III.2.1.- A BAJA PRESION.....	49
III.2.2.- A ALTA PRESION.....	55
III.3.- CURADO POR ELECTRICIDAD.....	55
III.4.- CURADO POR MEMBRANAS QUIMICAS.....	60

CAPITULO IV

NORMAS PARA EL CURADO DEL CONCRETO.

IV.1.- AGUA PARA CURADO.....	64
IV.2.- ACCION AGRESIVA DE LAS AGUAS.....	66
IV.3.- ESPECIFICACIONES.....	69
IV.4.- CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO.....	71
IV.5.- CURADO EN CLIMA CALIDO.....	74
IV.6.- CURADO EN CLIMA FRIO.....	75
IV.7.- EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CURADO.....	76
IV.8.- FACTOR DE MADUREZ.....	77

CAPITULO V

USOS Y COSTOS DEL CURADO.

V.1.- USOS EN LA CONSTRUCCION.....	81
V.2.- COSTOS DEL CURADO.....	88
V.2.1.- CURADO CON AGUA.....	88
V.2.2.- CURADO CON MEMBRANAS QUIMICAS.....	89
V.2.3.- CURADO CON VAPOR A BAJA PRESION.....	91
V.2.4.- CURADO CON VAPOR A ALTA PRESION.....	93
V.2.5.- CURADO POR ELECTRICIDAD.....	94
CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	99

INTRODUCCION

Dentro de la industria de la construcción, nos encontramos con un punto importante, el cual es primordial para obtener obras realizadas a base de concreto de buena calidad, siendo este el curado del concreto.

En la construcción se pone un gran énfasis a lo que es el diseño, armado, sistema constructivo y colado de las obras, sin embargo no se le da ninguna importancia a lo que sigue después, esto es el curado del concreto, como veremos en el siguiente trabajo, el no curar adecuadamente las estructuras realizadas a base de concreto, trae como consecuencia el no tener la resistencia de diseño con la cual fue calculada, teniendo el riesgo de mucho agrietamiento, baja resistencia del concreto, alta permeabilidad, rápidamente erosionable, por consiguiente se corre el peligro de no resistir la carga a la que se le someta o estará trabajando al límite de su capacidad, teniéndose como resultado de que con cualquier movimiento telúrico se vea dañada en forma irreversible.

Debido al amplio estudio de los cementos utilizados para la fabricación del concreto se tienen normas con las cuales se pueden evitar los daños mencionados anteriormente, las cuales se deberían seguir estrictamente, pero por la poca atención que se le presta, no se les da el seguimiento adecuado y en el peor de los casos se ignoran.

En la actualidad se cuenta con diversos tipos de curado los cuales en su mayoría se han adaptado a las condiciones geográficas y climáticas de nuestro país, siendo esto explicable debido a los altos costos que representarían para una obra en común.

En esta tesis, trataré de dar un panorama general de lo que es el curado del concreto, marcándome como objetivo hacer un compendio de los estudios y trabajos realizados por la gente dedicada a la investigación del tema, tratando de ser más práctico, para lograr una mayor facilidad de consulta y dar una pauta para la gente que quiera adentrarse en este tema.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

CAPITULO I

ANTECEDENTES.

Como es bien sabido, el concreto es parte del material dentro de la industria de la construcción más usado, debido a las características y propiedades que este presenta, tales como: moldeabilidad, alta resistencia mecánica, buena resistencia al congelamiento, durabilidad, impermeabilidad y en especial a lo económico que es, confieren al concreto el privilegio de ser el más usado en todas las subestructuras y superestructuras en el mundo.

Para producir un concreto de buena calidad, es importante tener en cuenta la calidad de los materiales con los que se va a producir, la colocación y procedimiento de colado, compactación del mismo y por último: **EL CURADO.**

El proceso del curado es muy importante, para que el concreto adquiera las propiedades deseadas de resistencia, la cual se obtiene cuando se hace un proporcionamiento correcto de los materiales, pero que en muchas ocasiones no es la obtenida por un mal procedimiento de curado, sin embargo a pesar de la importancia que reviste dicho procedimiento, es muy común que no se le preste la atención que se requiere.

Los cementos utilizados normalmente en nuestros días están constituidos por un compuesto de cal silícica y cal aluminica (silicatos y aluminatos de calcio), utilizandose cementos especiales cuando la especificación u obra los requieren, de estudios hechos se ha llegado a conocer la teoría del fraguado y endurecimiento, siendo esta la universalmente admitida por los organismos Internacionales, la cual es muy simple a saber:

La mezcla de agua de agua-cemento permanece al principio inalterable en apariencia, después su viscosidad aumenta (inicio del prefragado) con desprendimiento de calor. Hasta el cabo de unas horas la mezcla no se convierte en indeformable (final del fraguado), si no que el endurecimiento continua a causa de una serie de reacciones complejas que tiene lugar hasta la completa transformación del sistema anhídrido del principio, en un sistema hidratado, por esto el concreto no adquiere sus propiedades mecánicas definitivas hasta después de meses.

Durante el proceso de fraguado, como se sabe, se produce una pérdida de humedad por evaporación que le impide a los granos de cemento hidratarse totalmente, dicha pérdida de agua causa contracción y agrietamiento del concreto debido a los esfuerzos de tensión que se generan. Por otra parte, durante el mismo proceso de fraguado se presenta otro factor adicional que influye en la velocidad de hidratación del cemento: la temperatura, es así que con una temperatura muy alta estimula una rápida hidratación inicial con lo cual se forman productos con una estructura muy pobre, por el contrario con una temperatura muy baja demora el proceso de adquisición de resistencia, de este proceso se mencionará más adelante.

Por otro lado, la total hidratación de los granos de cemento solo se realiza en presencia de agua, de aquí que sea necesario proporcionarle una cantidad adicional al concreto y mantenerlo saturado tanto como sea posible en la edad temprana de endurecimiento luego del proceso de fraguado, con lo cual se previene la pérdida de humedad, por lo tanto, al saturar el concreto durante un determinado tiempo, se consigue mantener una temperatura adecuada de manera que la hidratación de los granos de cemento se realice en forma normal.

Quando el cemento se produce de una manera natural, a temperatura ambiente normal, es necesario esperar cierto número de días para obtener una resistencia a la compresión que permita el desclimbado de las piezas. El tiempo mínimo de endurecimiento esta en función del tipo de piezas y de la resistencia a la compresión indispensable, la cual suele oscilar entre 20 y 125 kg/cm². Para la puesta en tensión de las piezas pretensadas, para poder retirar los puntales en las obras se precisan resistencias de 100 a 350 kg/cm², pues debe tenerse en cuenta el flujo plástico, este tiempo de espera antes del desclimbado, evidentemente reduce la velocidad de ejecución de toda clase de obras

Quando se hace el proporcionamiento de los diferentes materiales que componen al cemento, se observa que del 100% de la mezcla, solo el 15% de volumen lo ocupa el agua, con el cual, el 5% se encarga de hidratar al cemento y el 10% restante se destina a proporcionar la fluidez y luego durante el fraguado se evapora, con lo cual se observa, que en el momento de su colocación la cantidad de agua en el mezclado en el concreto es mayor que la cantidad que se puede combinar químicamente con el cemento, en ocasiones, la pérdida de agua de mezclado se produce también por una subestimación de la absorción de los agregados, suelo, etc, aunado con la cantidad de agua que se evapora por diversas circunstancias, se pueden alcanzar valores por debajo de la cantidad necesaria para la adecuada hidratación del cemento, en concretos hechos con bajas relaciones agua/cemento, la existencia permanente de agua en cantidades suficientes se convierte en una necesidad crítica, pues muchas veces no basta con tratar de conservar el agua original de mezclado sino que es preciso proporcionar agua adicional al concreto endurecido.

Una señal de que la pasta esta perdiendo agua es la aparición de fisuras por retracción plástica en la superficie del concreto cuando esta listo para el acabado, con lo que

estas fisuras nos indicarán la necesidad de tomar medidas correctivas inmediatas para prevenir su posterior desarrollo.

Algunas especificaciones nos indican que se debe proteger el concreto por lo menos 7 días, si se trata de concreto realizado con cemento normal y 4 días, si se trata de cemento de alta resistencia.

Básicamente los procesos de curado procuran mantener el concreto lo más saturado posible, de modo que el espacio de la pasta ocupado inicialmente con agua, se llene con los productos de hidratación del cemento. En efecto, el cemento al hidratarse requiere de capilares llenos de agua, parte de la cual se usa en la formación de nuevos productos y la otra asegura la culminación del proceso. Fig # 1

En la pasta de cemento con cierto grado de hidratación, suelen existir los siguientes componentes:

- 1) Cemento hidratado.
- 2) Productos de hidratación (gel de cemento).
- 3) Espacio libre, ocupado parcialmente por agua absorción y agua capilar.

Se dice que las propiedades del gel (área de desarrollo interno y porosidad) son independientes de las características del cemento, de tal forma que para un cierto grado de hidratación, la resistencia de la pasta depende básicamente de su porosidad capilar, la cual

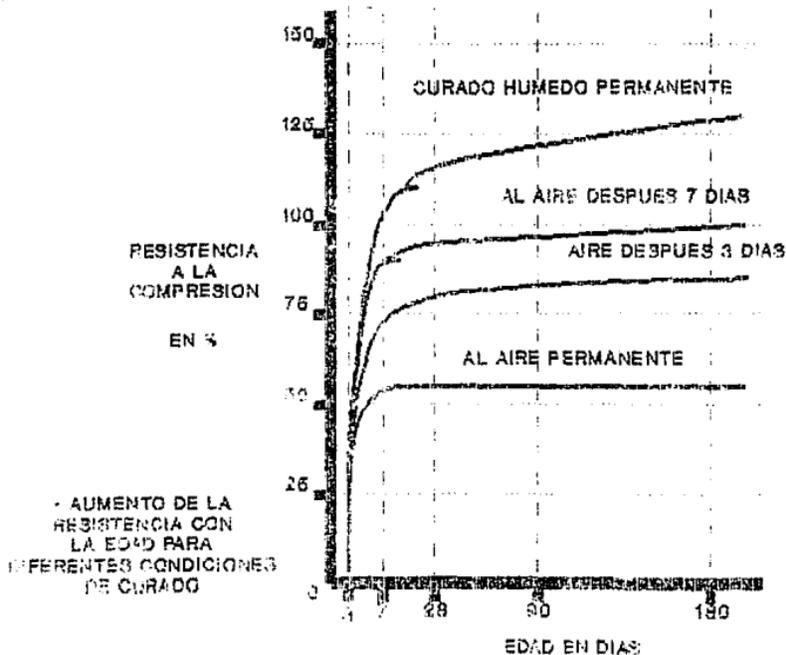


FIGURA #1

es mayor conforme se incrementa la cantidad de agua de mezcla y dado que una pasta más porosa es menos resistente, se justifica así la conocida dependencia que existe entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto

Se ha comprobado experimentalmente que el desarrollo de la hidratación se cumple a máxima velocidad cuando el agua produce en los capilares una presión de vapor superior a la que corresponde al 0.8 de la presión de saturación.

En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas:

- a) La que puede evaporarse a 0 % de humedad relativa y 110° C (agua evaporable).
- b) La que se conserva a 0 % de humedad relativa y 110° C (agua no evaporable).

El agua no evaporable, o agua de hidratación, es aquella parte de agua original que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel, el agua restante que existe en la pasta, es agua evaporable, pero no se encuentra libre en su totalidad, el gel de cemento el cual tiene una característica muy importante la cual es un enorme desarrollo superficial interno ($2 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{g}$) el cual ejerce una atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída, figura # 2:

Como se observa el agua evaporable puede estar en tres condiciones distintas, de acuerdo a su proximidad a la superficie del gel, siendo estas las siguientes:

a) Agua de absorción .- Se encuentra fuertemente adherida a las superficies del gel, es también llamada agua activa por su influencia en el comportamiento del concreto bajo carga, la distancia con respecto a la superficie del gel está en un intervalo de 0 a 30 Å.

b) Agua capilar .- Es la que ocupa los poros capilares de la pasta, comprendida en un intervalo de 30 a 10^7 Å, la cual está sujeta a la influencia de las fuerzas de superficie del gel.

c) Agua libre .- Esta agua tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad, siendo esto debido a que se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie.

Por lo que, antes de comenzar la etapa de curado, se debe proteger al concreto del secado producido por viento o al efecto de los rayos solares directos, principalmente durante el primer día después de su colocación.

Las cimbras normalmente impiden la salida del agua y ayudan, si se mantienen colocadas en el proceso de curado, pero se tendrán que estar humedeciendo continuamente para evitar que aparezcan grietas por contracción, lo cual siempre ocurre en los bordes.

Generalmente, en la construcción de edificios no se mantiene húmedo al concreto después de quitar las cimbras, debido a la dificultad que esto representa y a la falta de experiencia de los trabajadores y sobrestantes en lo referente al proceso de curado, de aquí que sea deseable quitar las cimbras tan pronto como sea posible, para aplicar un método de curado, además de permitir hacer reparaciones al concreto o ciertos acabados que puedan ser necesarios y que son más fáciles de hacer a edades tempranas.

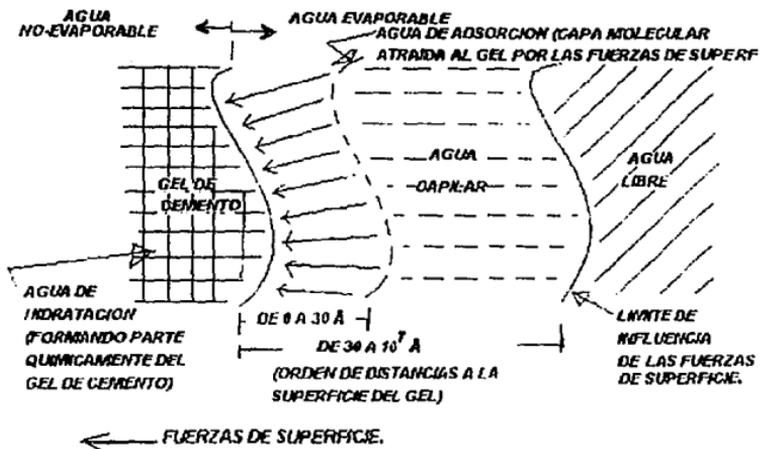


FIGURA #2.- Esquema de la ubicación del agua en la pasta de cemento hidratada.

1. 1.- DEFINICION DE CURADO.

El curado es primordial en la obtención de un concreto de buena calidad, ya que la resistencia potencial, la durabilidad y la impermeabilidad del concreto solo se desarrollan completamente si este es curado durante el tiempo necesario antes de ser puesto en servicio. La hidratación parcial trae como consecuencia una baja resistencia, el agrietamiento produce una alta permeabilidad y reduce la durabilidad, y para completar, una hidratación deficiente conduce a baja resistencia.

Vale la pena decir que si por algún motivo se llega a interrumpir el suministro de agua de curado, el desarrollo de la resistencia continúa por un corto período de tiempo y luego para; pero si el proceso es reanudado, el desarrollo de la resistencia puede ser reactivado. Sin embargo esta afirmación es válida solo para condiciones controladas de laboratorio y es muy difícil que suceda lo mismo con el concreto puesto en obra, por lo que el proceso deberá ser continuo.

Un concepto estrechamente relacionado con el curado es la obtención de la madurez, siendo esta la evolución de la hidratación del concreto, la cual no se adquiere si no se cura en forma adecuada el concreto, la forma de acumular madurez con el paso del tiempo, depende básicamente de la temperatura como variable, de ahí la práctica frecuente de calentar el concreto a fin de acelerar su acumulación de madurez y consecuentemente su adquisición de resistencia, por lo que la madurez de la pasta de cemento en un momento dado puede considerarse como la medida de su grado de hidratación en ese momento, esto es, equivale a su contenido de cemento hidratado expresado en función del cemento total.

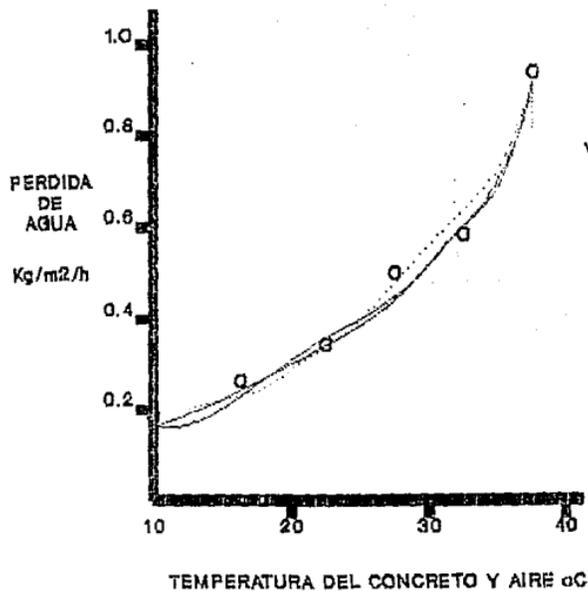
Como se dijo anteriormente, los factores fundamentales que se deben cuidar para obtener un buen curado son:

a) **TEMPERATURA** .- Esta afecta la velocidad de reacción entre el cemento y el agua puesto que es mínima por debajo de los - 12° C y máxima a temperaturas cercanas a los 100° C. La experiencia ha demostrado que el desarrollo de la resistencia inicial por debajo de los 10° C no es favorable para el concreto, por debajo de los 5° C el desarrollo de la resistencia inicial se retarda en gran medida y a temperaturas por debajo de los - 10° C el desarrollo de la resistencia es prácticamente nulo; gráfica # 3 y gráfica # 4.

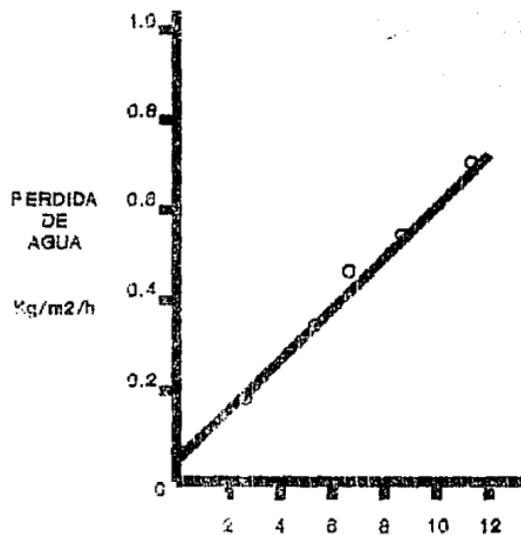
Por el contrario a temperaturas elevadas se aceleran las reacciones químicas de hidratación lo cual afecta en forma benéfica a la resistencia inicial del concreto, sin embargo una temperatura alta a la hora de colocación y fraguado, aunque incrementa la resistencia a edades tempranas, afecta adversamente la resistencia posterior (aproximadamente a los 7 días).

Dado que el concreto se coloca al aire libre por así decirlo, es afectado por el aire circundante, por la absorción del calor solar, por el calor de hidratación del concreto y por la temperatura inicial de los materiales, por consiguiente el curado del concreto deberá ser muy cuidadoso en zonas calurosas y en particular en elementos con gran superficie expuesta a un eventual secado y de espesor relativamente pequeño.

Las pruebas indican una temperatura óptima durante las primeras edades del concreto que conducen a una resistencia máxima a la edad deseada, en condiciones de laboratorio, para cemento portland ordinario se tiene una temperatura de 13° C y para cemento portland de alta resistencia es de 4° C, pero como recomendación, se aconseja

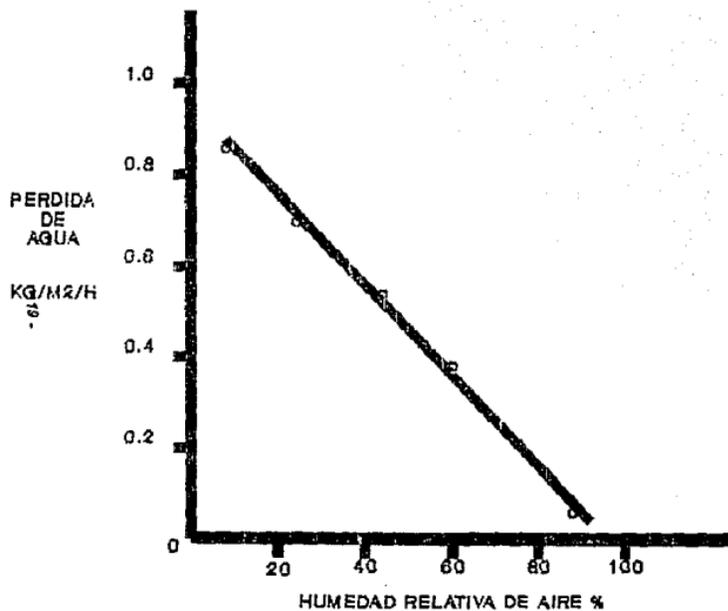


GRAFICA # 3



Humedad relativa del aire del 70%
y temperatura de 21o C.

GRAFICA #4



Temperatura del aire 21c C
velocidad del viento 4.5 m/s

GRAFICA # 2

mantener una temperatura uniforme en toda la masa del concreto, que no sea mayor a la temperatura promedio del concreto pronosticado.

b) HUMEDAD .- Para tener un buen contenido de humedad en el concreto se tiene que controlar los problemas antes mencionados tales como: la evaporación, la cual depende de la temperatura , la humedad relativa del aire circundante y de la velocidad del viento, los cuales afectan para la pérdida de agua. gráfica # 5.

Los cuales se pueden evitar mediante protección y curados adecuados; mientras que los efectos de la absorción tanto de los agregados como del suelo, se pueden evitar humedeciéndolos.

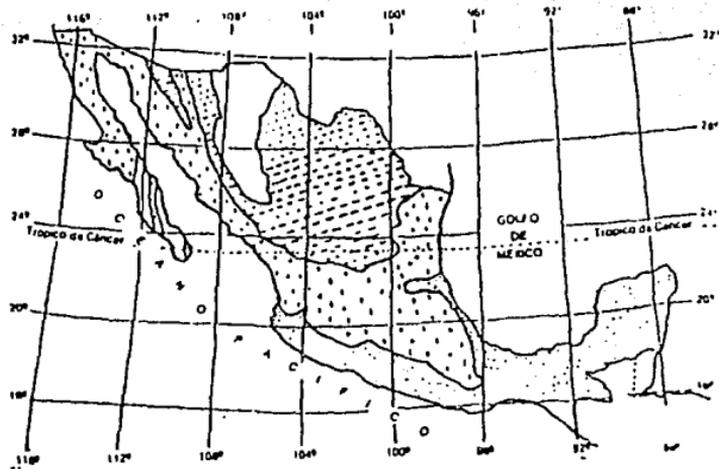
Es muy importante evitar una reducción drástica en el contenido de humedad, inmediatamente después de la colocación del concreto, ya que puede disminuir la hidratación, produciendo retracción por secamiento y desarrollo de fisuras en la pasta.

Otro factor que se debe tomar en cuenta dentro de este proceso de curado, es el tiempo que se va hacer este, en general, el tiempo de curado requerido depende de las características del medio ambiente en el que esta el elemento a curar, en la mayoría de las estructuras expuestas a temperaturas ambiente superior a 4° C, el periodo mínimo de curado recomendable es de 7 días, o el tiempo necesario para obtener el 70% de la resistencia a la compresión especificada, si se coloca el concreto a una temperatura ambiente de 5° a 7° C o menos, se deben tomar las precauciones para evitar daños por congelamiento.

En nuestro país, existen zonas localizadas tanto de afectación al intemperismo, como de la temperatura y humedad, como lo muestran las figuras #6, #7 y #8; con las cuales podemos determinar más fácilmente el comportamiento del concreto, para así aplicar el procedimiento de curado más óptimo.

Con lo expuesto anteriormente, ya se puede formular una definición acertada de lo que es el curado, siendo esta la siguiente:

EL CURADO ES EL CONJUNTO DE CONDICIONES FAVORABLES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARA QUE LA HIDRATACION DE LOS MATERIALES CEMENTANTES EVOLUCIONE SIN INTERRUPCION DURANTE UN TIEMPO DETERMINADO PARA QUE EL CONCRETO ALCANCE SUS PROPIEDADES POTENCIALES DESEADAS.



ZONAS TEMPERATURAS MÍNIMAS RIESGO DE CONGELACION
 EXTREMAS ABSOLUTAS. DEL CONCRETO.

- | | | | |
|---|--------------|---------------|--------------|
| □ | — MENORES DE | -16° C | — IMPORTANTE |
| ▨ | — ENTRE | -16° Y -10° C | — MODERADO |
| ▩ | — ENTRE | -10° Y 0° C | — LEVE |
| ◻ | — MAYORES DE | 0° C | — NULO |

FIGURA #6.- CARTA DE RIESGO DE CONGELACION Y DESHIELO
 (TAMAYO J.L.)

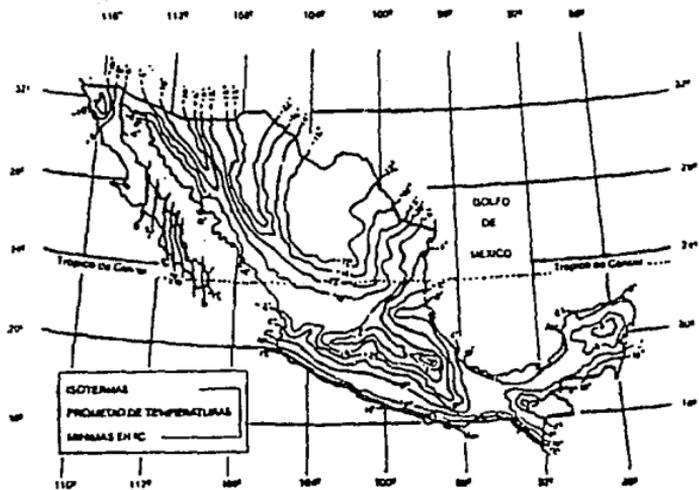


FIGURA # 7 .- CARTA ISOTERMICA CORRESPONDIENTE A LAS TEMPERATURAS MINIMAS EXTREMAS ABSOLUTAS 1941-1977. (TAMAYO J.L.)



FIGURA # 8 .- GRADOS DE SEVERIDAD DEL INTEMPERISMO

CAPITULO II

TIPOS DE CURADO

CAPITULO II

TIPOS DE CURADO.

Existen una gran variedad de métodos y materiales para realizar el tratamiento del curado, pero los principios básicos involucrados son siempre los mismos a saber, los cuales son:

- a) Mantener un suministro de agua adicional para asegurar la hidratación del cemento.

- b) Mantener una temperatura adecuada tal que permita obtener un concreto con buenas características.

Estos métodos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- 1) Aquellos en que se añade una humedad adicional.

- 2) Aquellos que previenen la pérdida de humedad del concreto mediante selladores de superficie.

El escoger el método apropiado, depende del tamaño y condiciones de la obra, la forma, la posición de la estructura, así como la mano de obra y los materiales de que se dispone para efectuar cualquiera de estos tratamientos.

A continuación se presentarán los tipos más usuales para el curado del concreto, tanto para obra, como para la industria de la prefabricación.

11.1.- CURADO TRADICIONAL.

Este método tiene la ventaja de permitir el incremento de la humedad interna ya que se basan en la continua o frecuente aplicación de agua por saturamiento o inmersión, rocíos o riegos de agua, cubiertas de material absorbente saturados, tierra, arena o paja.

Cuando el regado, al concreto, se hace a intervalos, no debe permitirse que se seque entre las diferentes aplicaciones de agua, constantemente debe agregarse agua para prevenir la posibilidad de estrefamiento o agrietamiento.

este método es el más usado en pequeñas ciudades, poblaciones rurales, etc; en donde aplicar otro tipo de curado les resultaría antieconómico, además no existe el factor de apariencia del concreto. Este método es el más barato de todos siempre y cuando exista una disponibilidad del líquido teniendo que cuidar que la calidad del líquido con el que se cura, sea el mismo con el cual se hizo el concreto, la cual deberá estar libre de agentes que puedan atacar o decolorar al concreto.

11.2.- CURADO A VAPOR.

El uso del vapor es el más conocido y practicado para curar el concreto, ya que con este método se pueden tener diversos niveles de temperatura y una humedad cercana al 100%, además este método es el más económico para acelerar el proceso de endurecimiento del concreto, el conocimiento del efecto de la humedad con el ciclo de curado con vapor da una pauta para la construcción de nuevos generadores de vapor para esta industria, el curado con vapor básicamente puede practicarse de 2 formas: generadores con sistemas operados manualmente y sistemas operados automáticamente dependiendo de la producción

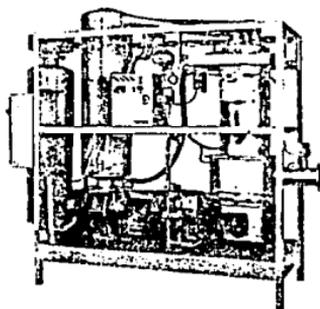
que se desee, estos generadores deben ser capaces de proveer vapor en forma continua, y una temperatura constante.

Este procedimiento es comúnmente usado en la manufactura de productos prefabricados de concreto, para el desarrollo de la resistencia de estos productos de tal forma que los moldes puedan ser reusados a intervalos más frecuentes, pudiendo operar en una forma más continua, pues dado que las plantas que producen piezas prefabricadas tienen grandes inversiones en instalaciones, moldes, etc; el reutilizar estas en forma más frecuente resulta esencial para una producción más económica.

En resumen este método se utiliza para acelerar el proceso de hidratación y endurecimiento de las unidades y poder reutilizar moldes e instalaciones en pocas horas después de su fabricación, además se evita el problema de almacenamiento y los retrasos que el curado en forma normal exige, para lograr esto se han utilizado dos procesos a base de vapor, los cuales son:

- a) proceso de alta presión o autoclave.
- b) proceso de baja presión o a vapor a presión atmosférica.

Estos dos procesos aunque tienen en común el uso del vapor, son muy diferentes a la hora del procedimiento, por eso se mencionarán en forma separada, como en la siguiente página.



GENERADOR DE VAPOR



**CAMARA DE CURADO A PRESION ATMOSFERICA
Y AUTOCLAVE**

11.2. 1.- BAJA PRESION O VAPOR A PRESION ATMOSFERICA.

Dado que el vapor de agua es el mejor aportador de calor y de humedad simultaneamente, siendo estos elementos indispensables para el curado térmico (higrotérmico), este curado es mas fácil llevarlo a la práctica industrialmente, suele hacerse en camaras o recintos aislados en los que se produce vapor o a los que se hace llegar este. Estos recintos o cámaras estan diseñadas o realizadas de tal modo que se evita la caída sobre las caras superiores de las piezas, de gotas líquidas formadas por la condensación del vapor, las cuales si no se evitan pueden producir expansiones, ablandamientos y descascarillados superficiales en las piezas tratadas.

El tratamiento a baja presión dan resultados mucho más regulares y más reproducibles que los tratamientos con agua, más sin embargo solo se debe aplicar este método a cementos portland o a conglomerantes a base de cemento portland, no siendo aconsejable su aplicación a cementos aluminosos ni sobreasulfatados.

Para medir la calidad de las piezas o elementos sometidos a este tratamiento, se suele tomar la resistencia mecánica de los mismos con probetas tomadas de la misma mezcla y curadas de igual forma, esta resistencia se compara con probetas análogas no sometidas al tratamiento, sino curadas en condiciones normales, con lo cual se comparan no solo las resistencias a corto plazo, sino también a plazos medianos o largos, pues sucede muchas veces que un tratamiento que eleva mucho la resistencias iniciales hace decaer sensiblemente las finales.

A este respecto las variables técnicas que se deben tomar en cuenta y cuyos valores óptimos deben determinarse y fijarse en cada caso son:

1) El periodo inicial o preeliminar de curado normal, siendo este el tiempo de colado del concreto y el comienzo de la aplicación del tratamiento térmico propiamente dicho.

2) La velocidad de calefacción ($^{\circ}\text{C}/\text{hora}$) desde el comienzo del tratamiento (al final del tratamiento inicial), hasta alcanzar una temperatura máxima.

3) El valor de la temperatura máxima alcanzada.

4) El periodo que debe permanecer el concreto a la temperatura máxima (periodo isotérmico).

5) La velocidad de enfriamiento ($^{\circ}\text{C}/\text{hora}$) desde el final del periodo de permanencia a la máxima temperatura hasta que se alcanza de nuevo la temperatura ambiente o hasta que las piezas salen de la cámara o recinto de curado.

A continuación se explicaran en forma más detallada las variables y valores óptimos.

1) PERIODO PREELIMINAR CON TRATAMIENTO A VAPOR.

Cuanto mayor es el tiempo inicial previo al tratamiento propiamente dicho, se admiten velocidades mayores de calefacción, ya dentro del tratamiento, y mayores temperaturas máximas dentro del tratamiento, logrando conseguir una mayor resistencia final del concreto.

Suelen ser recomendables y frecuentes las demoras de 1 a 3 horas antes de empezar el tratamiento, jugando como factores determinantes las resistencias a plazos moderados y largos, y la producción de piezas (número de piezas por jornada de trabajo). Por lo tanto, en cada caso requiere de una solución particular, la cual se fija en muchos casos con la experiencia del productor.

2) VELOCIDAD DE CALEFACCION.

Cuanto es mayor la velocidad de calefacción, tanto mayor son las resistencias a corto plazo y por lo mismo, se puede desmoldear las piezas en un período más corto, mejorando la producción, pero existe el problema con la resistencia a largo plazo la cual puede ser menor a lo esperado, en relación con el curado normal, siendo esta reducción del orden del 30% al 50%.

Se observa que dándole un período inicial más largo permite mayores velocidades de calefacción, sin riesgo de tan notables reducciones de resistencia, por lo que se puede decir que existe un límite en la velocidad de calefacción, siendo este límite fijado por la naturaleza y calidad del concreto.

Las velocidades de calefacción más frecuentes utilizados en este tipo de tratamiento suelen variar de 10° y 20° C/hora, siendo valores normales los comprendidos entre 15° C a 20° C/hora, de modo que se consigan, como máximo, 80° C a las cuatro horas y de 90° a 100° C a las 5 o 6 horas. Una calefacción más gradual consiste en conseguir 50° C a las cuatro horas y 90° C a las 6 horas.

En el caso de las piezas pretensadas no es conveniente una calefacción demasiado rápida, ya que perjudica a la buena adherencia entre el armado y el concreto.

3) TEMPERATURA MÁXIMA.

La temperatura máxima que se puede alcanzar, naturalmente es la de 100° C, pero los valores más frecuentes y normales son los comprendidos entre los 70° y 90° C, puesto que a temperaturas menores hacen al proceso menos rápido y mayores temperaturas dan lugar a hinchamientos por desgasificación del agua de la mezcla, por lo cual es recomendable no pasar de los 80° C.

4) PERMANENCIA A TEMPERATURA MÁXIMA O PERIODO ISOTERMICO.

Una vez que se fija la temperatura máxima, el tiempo de permanencia de las piezas a dicha temperatura favorece en general a las resistencias a largo plazo, por otra parte al tratar de prolongarlo demasiado se eleva el costo del tratamiento y limita la producción.

Por lo tanto la permanencia a la temperatura máxima de las piezas puede ser como mínimo de 2 horas, siendo valores normales de 8, 10 y/o 12 horas.

5) VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO.

El enfriamiento de las piezas debe ser tan gradual o más que la calefacción, se deben de evitar los choques térmicos bruscos y las variaciones de humedad súbitas, cuanto más sostenido y lento sea el enfriamiento, se tendrán mejores características de todo tipo de las piezas tratadas, siendo la única limitación de tipo económico.

Las velocidades de enfriamiento, según los casos puede oscilar entre 5° y 20° C/hora siendo valores normales los comprendidos entre 10° y 12° C/hora, no rebasándose la velocidad de 20° C/hora.

Si la temperatura fue demasiado alta y el periodo isotérmico suficientemente largo, el concreto adquiere una resistencia del orden de 80% en caso del pretensado y de un 50% en caso del armado, lo cual es bastante para iniciar el desmoldeo de las piezas, se suelen secar las piezas con aire caliente o vapor recalentado, ya que, cuanto más secas, resisten más, menos se agrietan y se fisuran, dado que adquieren una resistencia mecánica del orden de 100 a 150 kg/cm² lo cual permite el desmoldeo y manejo de las piezas con garantía de seguridad.

Como es lógico, la duración total del tratamiento es función de las duraciones parciales de cada una de las etapas señaladas, a su vez una duración total prefijada determina las correspondientes a dichas etapas parciales, por lo que la duración total puede variar, según los casos entre 8 y 24 horas, siendo duraciones normales de 15 a 20 horas.

11.2.2.- ALTA PRESION O AUTOCLAVE.

Este tratamiento se realiza en cámaras llamadas autoclave, las cuales no son otra cosa que cámaras especialmente construidas, selladas con el objeto de lograr una atmósfera saturada a temperaturas de 100° y 120° C, se emplea para la producción de elementos prefabricados sean de concreto ordinario o liviano y se usa cuando se quieren algunas de las siguientes condiciones:

a) *Alta resistencia inicial:* siendo con este tipo de curado a vapor, la resistencia que alcanza a los 28 días con un curado normal, se puede lograr en 24 horas, por lo tanto se obtiene prácticamente la que pudiera denominarse resistencia final del concreto.

b) *Alta durabilidad:* El curado con vapor mejora la resistencia del concreto a los sulfatos y en general al ataque químico, además lo hace menos permeable.

c) *Reduce la contracción por secado.*

En relación con el curado normal sucede como en los demás tipos de tratamientos: las mejores resistencias finales son siempre las del concreto curado en condiciones normales, salvo que el tratamiento con autoclave sea suficientemente largo y bien llevado.

La explicación a este hecho puede residir, por una parte, en la formación de silicatos cálcicos hidratados distintos a los obtenidos en el curado normal y por otro lado, en una reacción entre los finos silíceos del agregado y el hidróxido cálcico liberado en la hidratación del cemento.

Las temperaturas de trabajo con este método suelen oscilar entre 120° y 160° C trabajando con presiones de 2 y 16 atmósferas, en un ambiente saturado de humedad y con exceso de agua, teniéndose aparte otras ventajas tales como:

1) Menor retracción inicial, habiendo menores retracciones y expansiones

posteriores por movimiento de humedad en las piezas, dicho de otro modo, es la estabilización de los productos empleados y la estabilidad de los productos obtenidos.

2) Mayor grado de sequedad en las piezas, respecto al curado a presión atmosférica.

3) Mayor idoneidad para tratamientos de concretos ligeros, porosos y con agregados de naturaleza caliza.

El inconveniente de este procedimiento paralelo a estas ventajas es el alto costo de la instalación y del proceso, además se ha observado, que el proceso a presión parece afectar desfavorablemente a la adherencia entre el concreto y el armado.

Entre las ventajas citadas anteriormente se halla la idoneidad para la obtención de prefabricados de concreto ligero y porosos, siendo la diferencia del ligero su bajo peso específico, del poroso el cual contiene una espuma homogénea uniformemente repartida en su masa, la dificultad de estos concretos al curarlos al aire libre reside en dos hechos: su escasa resistencia y su alta contracción.

La primera neutraliza en gran parte las buenas propiedades aislantes térmicas y acústicas de estos materiales, estas piezas suelen fallar de los cantos y esquinas al ser transportadas.

La segunda, al no desaparecer si no hasta el secado completo, obligaría a un secado artificial y/o a un almacenamiento prolongado lo cual resultaría antieconómico.

En estos casos el usar el tratamiento con autoclave, da una mayor rapidez al endurecimiento y un aumento de la resistencia.

Para la rapidez del endurecimiento influye la naturaleza del cemento, siendo los de mejor comportamiento los que tienen mayor saturación de cal (silicato tricálcico).

Haciendo un curado normal, se presenta mayor contracción debido a una mayor fuerza de retención del agua capilar dado por la mayor densidad de la pasta, al aplicarse el curado por autoclave el gel de la pasta es más rígido y menos capilar, o sea más lento en sus intercambios de humedad con el ambiente y de volumen más estable.

11.3.- CURADO CON ELECTRICIDAD.

En los países euroasiáticos se preocuparon desde hace tiempo en investigar un método el cual les permitiera vaciar concreto estando la temperatura muy baja dadas sus condiciones climáticas, ya que era muy importante evitar paros forzosos de trabajo en época Invernal.

La experiencia demuestra que cuando la temperatura es muy baja, es conveniente utilizar cementos de alto calor de hidratación, empleándolos a elevadas dosis y procurando mantenerlos a una temperatura bastante superior a los 0° C durante los primeros días.

Sabiendo la teoría del fraguado y endurecimiento explicada en el capítulo I, se utilizaron procedimientos de origen químico y térmico, sacando las conclusiones siguientes:

Los de origen químico resultan caros y presentan varios inconvenientes, por lo que son únicamente aplicables esporádicamente, pero no para lograr una aceleración sistemática del endurecimiento del concreto, afín de reducir los costos, dado que hoy en día esta muy influido evitar cualquier movilización de capital improductiva, mano de obra y materiales.

Por lo que se tuvo que recurrir a los procedimientos térmicos.

En la industria de la prefabricación de elementos estructurales, a base de concreto y mortero, lo que interesa a las Industrias por múltiples razones son acelerar y acortar los procesos de fraguado y de endurecimiento y según las circunstancias esto se puede lograr de muy diversas formas las cuales son:

- a) por empleo de cementos de altas resistencias iniciales o de endurecimiento rápido y usando cementos aluminosos.
- b) por empleo de aceleradores de fraguado y de endurecimiento a todas las edades.
- c) Por el curado o tratamiento térmico del concreto.

Los dos primeros procedimientos pueden calificarse como químicos, mientras que el tercero entra en la categoría de los procedimientos físicos, siendo en realidad una base físicoquímica.

Dado que los tratamientos térmicos se han desarrollado, combinados o no con el empleo de aceleradores, las ventajas técnicas y económicas que estos tratamientos aportan son las siguientes:

- a) *Aumento en la producción.*
- b) *Ahorro de moldes y mayor rendimiento de estos.*
- c) *Ahorro de espacio de curado y almacenamiento.*
- d) *Posibilidad de una más inmediata puesta en servicio de las piezas, etc.*
- e) *El ahorro de mano de obra aumentando considerablemente la productividad.*

Los tratamientos térmicos requieren una estrecha vigilancia, ya que no basta conseguir con ellos una buena resistencia mecánica a corto plazo, si no evitar la caída de la resistencia a plazos normales y largos, lo cual suele suceder con frecuencia, siendo en general la resistencia a flexión la que se suele juzgar con el procedimiento térmico.

Los primeros intentos de tratamiento electrotérmico se remontan a 1932, habiéndose desarrollado esta técnica en la Unión Soviética, con motivo de la construcción de presas, pero en forma se puede decir que hasta hace unos 20 años se ha usado la electricidad en forma para curar el concreto, existen varios procedimientos de curado a base de electricidad como son:

- A) *Curado por conductibilidad eléctrica de la pasta.*
- B) *Curado por conductibilidad eléctrica del refuerzo.*

C) Curado por resistencias eléctricas aisladas, sumergidas dentro del concreto.

D) Curado por resistencias eléctricas de calefacción exterior

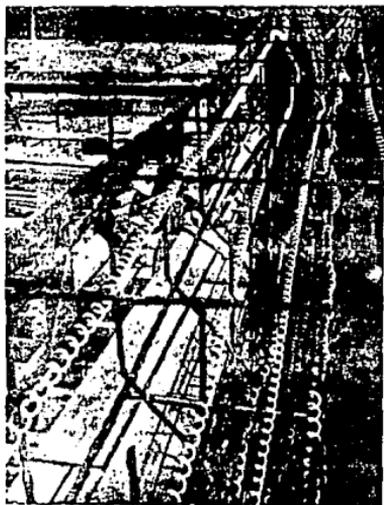
E) curado por calefacción dieléctrica.

Estos procedimientos se explicaran más adelante, pero se puede decir, de todo lo expuesto, se resume a que existen procedimientos muy variados y pueden ser adaptados a las características del problema a resolver.

Se ha reprochado a este sistema ser causante de la obtención de concretos de menor calidad, pero esto se debe a que para mejorar la conductibilidad eléctrica en la pasta, se le añaden pequeñas cantidades de ácidos o sales, que como es sabido son altamente perjudiciales.

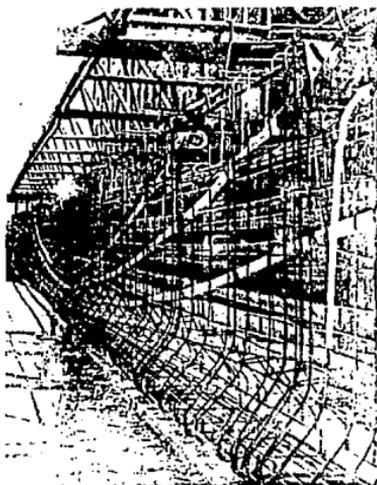
Para determinar la potencia por m^3 se deben consultar a especialistas, los cuales por comparaciones sucesivas aunado con la experiencia que tienen obtienen los valores, que después corregido de acuerdo al ciclo de trabajo impuesto, es fijado definitivamente.

Actualmente se utilizan diversos tipos de mantas calefactoras las cuales aseguran al concreto de una protección contra el hielo (solo países euroasiáticos, parte norte de la unión americana y Canadá), las cuales crean durante periodo de frío un clima de verano, lo cual es favorable para el fraguado del concreto, conservando la humedad requerida.



**PROCEDIMIENTO DE
CURADO A BASE DE
ELECTRICIDAD POR
HILOS ADHERENTES**

**LOS CABLES SE TIENE QUE
DEJAR AHOGADOS EN EL
REFUERZO ANTES DE
CIMBRAR EL MOLDE.**



Por comparación con los sistemas clásicos de calefacción, hay cuatro puntos que se pueden mencionar en favor del calentamiento del concreto:

- a) Variedad de medios susceptibles de ser utilizados.*
- b) Facilidad de uso.*
- c) Seguridad en su utilización.*
- d) Garantía de un bajo costo.*

Teniendo en cuenta el rendimiento global de los procedimientos eléctricos, el precio de la energía eléctrica afecta muy poco los costos en comparación con las ganancias de tiempo que se pueden conseguir, además nos permite reducir al mínimo las superficies de trabajo.

Con estas ventajas y características vistas anteriormente se puede concluir del curado por medio de la electricidad se debe apreciar en su justo valor antes de tomar una decisión errada, con la consiguiente fuga del capital.

Viéndolo desde un punto de vista económico, el uso de la energía eléctrica para calentar el concreto tiene dos importantes ventajas:

- a) La pérdida de energía es menor que con otros métodos.*

b) La electricidad es el tipo de energía que en el futuro, con el uso de la energía nuclear, puede ser más barata que hoy en día.

El sistema de endurecimiento por medio de la electricidad del concreto es una técnica relativamente nueva, siendo los métodos actuales constantemente mejorados y nuevos procedimientos están siendo estudiados para próximamente ponerse en práctica, logrando así una reducción importante en los costos de construcción.

11.4.- CURADO POR MEMBRANAS QUÍMICAS.

Los materiales sellantes son láminas o membranas colocadas sobre el concreto para evitar la pérdida de agua del mezclado, aunque no son siempre tan efectivas como la aplicación de agua durante el período de curado, existen algunas ventajas en el uso de estos materiales que hacen preferible su uso bajo ciertas condiciones.

Estas membranas o capas sellantes tienen la función de impedir la desecación del concreto y aunque este método no aporta agua como ocurre con los métodos humedificantes, tiene la ventaja de no requerir atención permanente siempre y cuando se haya realizado correctamente, en caso contrario se obtendrá un concreto de mala calidad.

Existen dos métodos que componen este procedimiento de curado por capas químicas:

1) Películas sellantes o papel impermeable:

a) Estas tienen como característica su reuso, siempre y cuando tengan la capacidad de retener humedad, sin perjuicio de las rasgaduras o huecos, los cuales se pueden parchar con el mismo material.

2) Compuestos químicos, los cuales son del tipo cera, resinas o caucho clorinado, los cuales se aplican con solventes de alta volatilidad, con lo cual se convierten en una membrana protectora, para su aplicación se deben respetar ciertas disposiciones, las cuales son:

a) El rendimiento de los compuestos varía entre un 3.5 y 5.2 m²/litro.

b) La aplicación se puede hacer por medio de un dispositivo atomizador manual o mecánico, siendo el último el más adecuado para grandes superficies, teniendo así una mejor distribución uniforme y mayor productividad.

c) No se recomienda el uso de la membrana sobre superficies que van a recibir concreto adicional o pinturas que deban adherirse al soporte.

d) Estos compuestos se deben aplicar cuando el agua sobre la superficie del concreto ha desaparecido, ya que esta agua puede ser absorbida por el concreto y entonces la membrana se rompe, siendo esto perceptible cuando el concreto pierde su brillo superficial y solo se aplica de inmediato en climas cálidos para evitar fisuración.

e) Estos compuestos se deben aplicarse según la especificación de la obra.

Estos materiales se deben aplicar tan pronto como el concreto ha adquirido suficiente resistencia como para prevenir un daño en la superficie teniendo como ventaja de proveer una protección contra los rayos solares.

En algunos casos esta películas plásticas, pueden causar decoloración del concreto endurecido, cosa que no es aceptable para el concreto expuesto o aparente, en caso de no aplicar estos compuestos inmediatamente despues que el concreto ha sido terminado deberá humedeseerse o mantenerse humedo hasta que la membrana se aplicada.

Para concluir como se dijo anteriormente, la cantidad de agua de mezclado es normalmente mucho mayor que la que se convina químicamente con el cemento, siendo este principio, con el cual se ha sustentado la teoría de poder curar con estas membranas, por lo que si se puede retener la cantidad original de agua, habrá más que suficiente para propósitos de curado, siempre y cuando exista una vigilancia muy estricta a la hora de aplicar estos materiales.

CAPITULO III

PROCEDIMIENTOS DE CURADO

CA PITULO III

PROCEDIMIENTOS DE CURADO

III. 1.- CURADO TRADICIONAL.

En este caso de curado con agua, se debe considerar la economía del método al suministrar agua, ya que su disponibilidad, mano de obra y materiales, influirán en su selección, en este procedimiento se debe proporcionar una cubierta de agua completa o que con los materiales que se cubra la superficie estén al 90 o 100% de saturación, como se dijo anteriormente el agua debe de cumplir con una serie de requisitos para poder utilizarla para curar; aquí se describirán los métodos a base de agua que se presentan con mayor frecuencia para el curado en poblaciones pequeñas o construcciones de menor relevancia, como son:

A) POR SATURAMIENTO O INMERSION.

Este procedimiento es tal vez el más completo pero el menos utilizado, por la dificultad que representa el ejecutarse en algunas estructuras.

Consiste en la Inmersión total en agua de la estructura terminada, por lo que este método se presta para cualquier lugar en donde se pueda crear un estanque de agua creando un borde impermeable en los extremos de la estructura. Se debe tener cuidado que el agua con la que se cura no perjudique, ni al suelo que soporta la estructura, ni

construcciones próximas u objetos, también se debe cuidar que el agua del curado no este a una temperatura menor que 11° C por debajo de la del concreto, debido a que los esfuerzos que se generan por cambios de temperatura, originan agrietamiento.

B) POR ATOMIZADORES O RIEGOS DE AGUA.

El rocío de agua por medio de dispositivos de riego proporciona un excelente curado cuando la temperatura es bastante más elevada que la de congelamiento; siendo más efectivos cuando no existe el problema de que el agua escurra fuera del area por curar, por otra parte, si son superficies a curar verticales o aproximadamente verticales, se recomienda utilizar el chorro de manguera teniendo cuidado de que la presión sea tal que provoque erosión en la superficie.

C) POR CUBIERTAS DE MATERIAL ABSORBENTE.

Este tratamiento se efectua de modo práctico usando cubiertas de material absorbente tales como costales, mantas de algodón, alfombras, estopa, etc, el procedimiento consiste en colocar estos materiales sobre el concreto y mojarlos de tal forma que la superficie de la estructura se mantenga húmeda.

Para asegurar buenos resultados, los materiales con los que se esta cubriendo la superficie ya saturados no se deben dejar secar y mucho menos permitir que absorban humedad propia del concreto, sin embargo al término del periodo de curado se deben dejar secar sobre el concreto antes de retirarlos, esto es para que el concreto se vaya secando paulatinamente.

El uso de costales es recomendado, siempre y cuando se les efectue un buen lavado con agua, con el fin de eliminar sustancias solubles que puedan tener, además con esto se les hacen más absorbentes, además se deben cuidar los siguientes aspectos:

- a) El almacenaje: en caso de que se guarde el costal para su reutilización en otra obra, es necesario tratarlo para que no se pudra o que resista el fuego.*
- b) El peso: entre más pesado sea este, más agua retendrá y será necesario mojarlo con menor frecuencia.*
- c) La colocación: se deben colocar los costales dobles y traslapados, de esta manera se evita que los levante el viento.*

La utilización de alfombras, mantas de algodón, etc; es menos frecuente apesar de que retienen más agua durante un mayor tiempo, con menos riesgo de researse, debido a que pesan más y no se pueden colocar sobre una superficie recién fraguada inmediatamente, siendo aconsejable esperar a que el concreto tenga un mayor grado de endurecimiento.

D) CON TIERRA.

El utilizar tierra mojada es adecuado para estructuras pequeñas, debe estar libre de partículas mayores de 25 mm y no debe contener materia orgánica u otras sustancias que le puedan afectar al concreto.

E) ARENA Y ASERRIN.

El curado con estos elementos, se usan del mismo modo que la tierra, siendo aconsejable no usar aserrín, en especial cuando contiene cantidades excesivas de ácido tánico puesto que puede causarle daño al concreto, las capas con las que se deben cubrir al concreto deberán ser de no menos de 10 cm, con las cuales se obtienen buenos resultados.

F) PAJA O HENO.

Estos materiales se pueden usar en el caso que no exista otro material para curar el concreto, pero se deben tener en cuenta algunos aspectos, tales como:

- a) Deberán cubrirse con una malla de alambre para que el viento no los levante .*
- b) No se deben dejar secar, por el peligro de incendio.*
- c) Estos materiales causan decoloración en la superficie del concreto.*
- d) Se deben poner capas de no menos de 15 cm de espesor.*

En caso de que no se tengan problemas por la apariencia del concreto aun despues de meses que dura la decoloración, este metodo se podrá aplicar sin ningun problema.

III. 2.- CURADO A VAPOR.

III . 2 . 1 .- PROCEDIMIENTO DE CURADO A VAPOR A BAJA PRESION.

En las plantas de elementos prefabricados y presforzados de concreto, el curado a vapor es un proceso indispensable para obtener una producción económica, en estas plantas se aplica un procedimiento el cual al mantener una temperatura constante por espacio de 6 horas, nos produce una resistencia del 90% del f'c

El procedimiento tradicional de curado a vapor usado en plantas de elementos prefabricados y presforzados constan de los siguientes periodos.

- 1) Periodo de fraguado inicial .- Es el periodo de espera entre la terminación del colado y la aplicación de vapor, durante este periodo, ocurre alguna hidratación del cemento y se da cierta estabilidad al producto antes de exponerlo al vapor.*
- 2) Periodo de ascenso de temperatura .- Es el periodo durante el cual la temperatura es aumentada, con un incremento controlado, hasta obtener la temperatura máxima deseada.*
- 3) Periodo a temperatura máxima .- Es el periodo en el cual se mantiene la temperatura al máximo nivel deseado, durante varias horas, según el porcentaje de la resistencia que se desee obtener.*

4) Período de descenso de la temperatura .- Es el período transcurrido desde la terminación de inyección de vapor hasta que el producto llega a la temperatura ambiente.

Al terminar el proceso el cual dura aproximadamente 12 horas se alcanza en el concreto una resistencia del 60 al 80% de la resistencia a los 28 días, en función del período de la temperatura máxima.

Se han hecho pruebas variando los factores, los cuales influyen directamente en el alcance de resistencias en el concreto, como son, tiempo de fraguado inicial, velocidad de ascenso, etc, dando un ciclo el cual es el más comúnmente usado en estas plantas, siendo el siguiente:

a) Un período inicial de 3 horas.

b) Un período de incremento desde temperatura ambiente hasta la máxima de 80° C de aproximadamente 3 horas dándonos una velocidad de ascenso de 20° C/hora.

c) El mantener esta temperatura máxima de 80° C por un período de 6 horas.

d) Un período de descenso de temperatura con duración de 2 horas a una velocidad de descenso de 30° C/hora.

Dándonos una resistencia que alcanza al final del tratamiento del orden del 75 al 80% de la de 28 días.

El alcanzar esta resistencia inicial es fundamentalmente debida a que la cantidad de geles de cemento producidos por la hidratación depende fundamentalmente de la temperatura, en conjunto con todas las reacciones químicas, un incremento en la temperatura de hidratación, incrementa significativamente la reacción química del fraguado del cemento, aumentando a su vez la producción de geles y a su vez aumentando la resistencia inicial, siendo el inconveniente de este procedimiento el alcanzar tan solo el 90% de las de 28 días.

El curado de vapor en obra, es básicamente un derivado del que se hace en las plantas, pero el cual tiene ciertas modificaciones, siendo estas el resultado de estudios y un gran número de pruebas, las cuales han llegado a determinar el curado a óptimo, el cual es el siguiente:

- 1) Periodo de fraguado inicial de 2 horas como mínimo.
- 2) Periodo de ascenso de la temperatura, va a ser variable en función de la masa de concreto por calentar, potencia del generador de vapor y pérdidas, con una velocidad de ascenso de temperatura no mayor de 23° C/hora y una temperatura máxima no mayor de 75° C.
- 3) No se debe de mantener esta temperatura por ningún periodo.
- 4) Periodo de descenso de la temperatura a una velocidad de 33° C/hora.

Este ciclo consiste en carga y descarga, en el cual no se mantiene la temperatura máxima por ningún momento, la razón de esta modificación, es que al analizar los factores que afectan el alcance de la resistencia final e inicial, se ha encontrado que la temperatura no debe subir de 75° C pues la resistencia final del concreto se reduce.

La explicación a lo anterior, es por que se ha observado que si se mantiene el concreto por un tiempo a altas temperaturas, el porcentaje de cemento hidratado se reduce, observándose que la resistencia esta en función de la hidratación del cemento, dándonos como resultado bajas resistencias.

Con este procedimiento se alcanza un 60% de la resistencia a los 28 días a las 12 horas y el 100% a los 28 días.

Las ventajas que presenta este procedimiento tradicional son:

No tener que sobredosificar el cemento para alcanzar la resistencia de proyecto y un costo más bajo de operación, al no ser necesario mantener la temperatura constante por 6 horas, ahorrándose horas extras de operación del generador del vapor.

Estos procedimientos tradicionales son los que al principio se importaron de países extranjeros, pero se vió que en México no se adecuaban a las necesidades de nuestras obras, por lo que tuvieron que modificar estos procedimientos quedando como sigue:

El sistema consiste básicamente en formar una cámara de vapor en las estructuras a curar directamente en obra, consiguiéndose de la siguiente forma.

a) Se lleva un generador de vapor portátil a la obra, lonas, o polietileno para cubrir toda la superficie del elemento recién colado, tubería perforada para formar la red de distribución de vapor y controles de temperatura.

b) Una vez que se termina el colado del concreto, se empieza a colocar la red de tubería para la distribución del vapor, y se coloca una armazón de madera o plástico para sostener las lonas y/o polietileno que han de formar la cámara, junto con el elemento a colar se colocan muestras tomadas del concreto colado, las cuales se distribuyen por toda la superficie del elemento, cubriéndose con las lonas formando una altura máxima de 30 cm, todas estas operaciones nos toman alrededor de 2 horas, se hacen las conexiones necesarias con el generador de vapor.

c) se coloca un control de temperatura dentro de la cámara y otro en el concreto, una vez terminado el proceso de formación de la cámara, se comienza a inyectar vapor con el generador de vapor a la red de distribución, el tiempo de inyección de vapor es variable dependiendo de los metros cúbicos a curar, así como de la temperatura ambiente.

En el momento que se alcanza la temperatura máxima, se suspende la inyección de vapor y se mantiene al concreto en reposo alrededor de 4 horas y al terminar el reposo se da por terminado el proceso.

d) Al terminarse la prueba se llevan los cilindros a probar.

e) Desde el momento en que se terminó el colado hasta el momento que se entrega el reporte de los cilindros probados, han transcurrido alrededor de 12 y 16 horas, en

este momento el concreto habra alcanzado la siguiente resistencia: 60% de la cilíndrica a 28 días si es de resistencia normal o el 70% si es de resistencia rápida.

Las ventajas de aplicación del curado a vapor, son las siguientes:

- 1) Se puede desclimbrar y poner en servicio cualquier elemento de concreto a las 12 horas.
- 2) El procedimiento no interfiere con el trabajo en la obra ya que se hace durante la noche posterior al colado y desclimbrar a la mañana siguiente que llega el personal a la obra.
- 3) Existe un ahorro al poder reducir el tiempo de ejecución de obra.
- 4) Poder utilizar cemento normal (el cual es más barato) y poder desclimbrar a las 12 horas, con garantía de que el concreto tiene resistencia suficiente para admitir esfuerzos a los que se somete al desclimbrarlo.

Por lo visto anteriormente, el procedimiento tradicional ha sido superado, dándonos la ventaja de un ahorro sustancial económico de la obra.

Se ha estudiado el efecto del curado a vapor en las propiedades del concreto, observándose que no existen diferencias significativas entre el curado a vapor y el curado en cámara húmeda, pero si es muy significativa la diferencia entre un curado a vapor y un curado dejado a la intemperie, como es el caso de un gran porcentaje de obras que existen.

111. 2. 2.- PROCEDIMIENTO EN AUTOCLAVE.

El procedimiento con autoclave, se puede decir que sigue los mismos pasos que el curado a vapor a presión atmosférica, siendo el único cambio, la cámara donde se introduce la pieza a curar, se encuentra a temperaturas entre los 120° y 190° C y bajo una presión absoluta comprendida entre los 2 y 13 kg/cm² de vapor saturado.

Este tratamiento con autoclave limita la calefacción necesaria de las piezas a un periodo muy breve de entre 3 y 4 horas, con lo que un tratamiento desde que se cuele hasta que sale de la cámara de curado se obtienen generalmente concretos de resistencia muy próxima a la máxima, incluso siendo superada, debida a las reacciones puzolánicas o silicocálcicas del concreto empleado.

Se ha encontrado que la temperatura de curado óptimo con este procedimiento es de alrededor de 177° C, lo cual corresponde a una presión de vapor de 8 kg/cm² arriba de la presión atmosférica.

111. 3.- CURADO POR ELECTRICIDAD.

Para acelerar el endurecimiento de los concretos fabricados con cementos que pueden soportar aumentos de temperatura, se han utilizado hasta ahora la calefacción a vapor o por agua caliente, siendo estos métodos caros y que obligan a una serie de limitaciones en las obras.

En ciertos países en los que no se han introducido este procedimiento por electricidad, se utilizan productos anticongelantes, siendo esta solución buena para volúmenes grandes de concreto a bajas temperaturas, pero los cuales no resultan costeables.

Actualmente, de los métodos que se van a mencionar, es el único que todavía no están de acuerdo los especialistas, es en la determinación de la máxima temperatura utilizable y en la forma de llegar a ella.

A) CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA DE LA PASTA O ELECTRODO A FONDO PERDIDO.

Esta técnica se utiliza en grandes volúmenes de concreto, siendo esta técnica la de pasar corriente a través de la masa (pasta) de concreto recién vertida en la cimbra durante un período de 6 a 18 horas (siendo un término medio de 10 horas), con lo cual se alcanzan rápidamente la temperatura de 80° C, que se mantiene después durante un tiempo indicado.

El consumo de energía viene a ser del orden de 0.65 a 1 kw/hora por metro cúbico de concreto, con lo cual se obtiene una elevación de la temperatura de 10° a 15° C/hora, partiendo de temperaturas iniciales de 5° a 20° C, alcanzándose una temperatura final de 85° C al cabo de 4 a 6 horas, el enfriamiento suele durar lo mismo y a veces de 3 a 4 horas, poniéndose de manifiesto los resultados los cuales tiene gran importancia.

En estas condiciones suelen obtenerse resistencia análogas a las logradas al cabo de 10 días de curado normal o al cabo de 2 días de conservación en atmósfera de vapor a 70° - 80° C.

Se suele usar corriente de baja tensión (220 v) y frecuencia industrial de (50-60 Hertz), pudiéndose trabajar con corriente continua a tensión constante, con lo cual no es preciso efectuar ninguna relación de corriente.

Con objeto de que tenga más conductividad el concreto se le adicionan compuestos a base de cloruro sódico y cloruro cálcico, estudiándose problemas de agrietamientos, adherencias de armaduras, corrosión de las mismas y desecaciones, siendo estas últimas tomadas muy en cuenta, ya que se puede evitar en alto grado agregándole una capa de agua de 1 cm de espesor, siendo muy importante insistir en que si no se evita al máximo la desecación rápida, la caída de resistencias a plazos moderados y largos puede ser muy considerable.

B) CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA DEL REFUERZO.

En el caso del concreto armado pueden actuar de electrodos el propio armado, siendo conveniente señalar las siguientes precauciones:

- a) Evitar un calentamiento prolongado del armado.*
- b) No sobrepasar los 40° C.*
- c) Procurar que el aumento de la temperatura sea uniforme en toda la masa.*
- d) Comenzar el tratamiento 2 o 3 horas despues de haber colado.*
- e) Hacer que la temperatura inicial y final sean lo más próximas posibles.*

Para conseguir esto se recomienda reducir la cantidad de agua en el concreto, utilizar tensiones bajas, estudiar la influencia de la densidad de la corriente (Amper/area) y de la frecuencia. El valor óptimo para esta suele estar muy próximo al de la corriente industrial (50-60 hertz), a esta frecuencia se producen pequeñas vibraciones del armado con lo cual favorecen la compactación del concreto y adherencia, hay que tener cuidado con el calentamiento del armado ya que al calentarse se dilata y al enfriarse se contrae lo cual se produce cierta tensión en el revestimiento, con lo cual se puede tener un alto índice de fisuración en el concreto.

C) RESISTENCIA ELECTRICAS AISLADAS SUMERGIDAS DENTRO DEL CONCRETO O PARA CONCRETO PRETENSADO.

En este caso hay que tener presente la posibilidad de una corrosión fisurante de los alambres, así como de la porosidad debida a la electrólisis, por la especial disposición de las armaduras en vigas pretensadas resulta particularmente fácil la realización de un circuito con corriente alterna trifásica y montaje de resistencias en estrella, con neutro a tierra, a la que van conectados también los extremos de las armaduras unidos entre sí por medio de los dispositivos de anclaje.

El rendimiento térmico depende de la temperatura ambiente, del aislamiento, etc, y no puede ser calculado ni previsto si no para cada caso en particular.

Entre los diferentes datos experimentales hechos a modelos a escala, figura lo siguiente: un tratamiento de 8 horas con armaduras de 2.5 mm de diametro requiere una potencia de 50 watts por metro lineal, esto es 150 watts por un armado con 3 varillas, por lo tanto nos da un consumo de 1.2 kwh de potencia por un banco de 12 vigas de 35 metros de

longitud, con estos datos, y con la resistencia eléctrica del circuito, deducida del montaje de las armaduras y de la pérdida de la resistividad del acero empleado, con lo cual se puede calcular la tensión de alimentación, la cual deberá corregirse al alcanzarse la temperatura de trabajo adecuada, además, no deberá alcanzar valores que produzcan fugas de corriente entre el armado y tierra, la intensidad suele estar limitada por las posibilidades de conexión en relación con la temperatura de los contactos y el aprovechamiento de los alambres.

D) POR CALEFACCION DIELECTRICA.

Este procedimiento se encuentra todavía en estado experimental, si bien se han obtenido resultados satisfactorios en especial en la aceleración del endurecimiento de losas que llevan integrados aislamientos térmicos o acústicos.

Los otros tres procedimientos son, por el contrario, utilizados normalmente por importantes industrias, lo cual pone fuera de duda sus ventajas y utilidad

Como recomendación general, se debe insistir una vez más la eficacia, tanto en el aspecto técnico como el económico, de un proceso o tratamiento, debe determinarse experimentalmente en cada caso particular, tomando como base las resistencias mecánicas de las piezas a corto, mediano y largo plazo, en comparación con las que resultarían de un curado normal, en todo caso hay que jugar con la calidad del producto por una parte, la producción y económica por otra. Además previa experimentación se debe precisar para el establecimiento de un proceso industrial rentable y técnicamente satisfactorio.

Otra observación muy importante es la debida a un riguroso control que permita vigilar la correcta marcha de los procesos a fin de lograr la uniformidad que se requiere, una calidad elevada del producto y al mismo tiempo que sea homogénea.

III. 4. CURADO POR MEMBRANAS QUIMICAS.

Estos materiales son muy usados en nuestro país, debido a la facilidad de uso, transportación, manejabilidad, etc; pero se deberán de ver ventajas y desventajas para cada caso en particular antes de decidirse a usar este procedimiento.

PELICULA PLASTICA

La película plástica esta estandarizada por la norma ASTM C 171, en general consiste en una hoja transparente, blanca o negra de 0.10 mm de espesor y de poco peso.

La película blanca es la más costosa y refleja en forma considerable los rayos de sol, mientras que la transparente tiene poco efecto sobre la absorción de calor, en cuanto a la negra se debe evitar en clima cálido a menos que sea para interiores, presentando ventajas al usarse en climas fríos dada por su absorción de calor.

Cualquiera que sea la película utilizada, se debe tener cuidado de no interrumpir la continuidad del proceso de curado, para ello se debe evitar que se rompa, o que se formen agujeros que ocasionen la salida del agua evaporada, algunas películas plásticas vienen reforzadas con algún tipo de fibra (siendo la más común la de vidrio), lo cual le proporciona mayor durabilidad y resistencia.

Cuando la apariencia del concreto es importante, no es aconsejable la utilización de este material, ya que su empleo genera una superficie aspera de aspecto motoso, teniendo como solución el provocar inundaciones ocasionales debajo de la película.

La colocación de la película se debe efectuar sobre el concreto fresco lo más pronto posible, teniendo cuidado en no dañarla y cubriendo todas las partes expuestas, una vez colocada se debe fijar bien para que se mantenga en contacto con el concreto durante el tiempo de curado requerido, esta película se debe dejar una parte más larga a lo largo de toda la pieza, bordes y uniones y evitar que el viento penetre bajo la película y la levante.

PAPEL IMPERMEABLE.

Al igual que la película plástica, este material esta estandarizado por la norma ASTM C 171. Basicamente consta de dos hojas de papel kraft unidas entre si mediante un aditivo o un cemento bituminoso, e impermeabilizadas con fibras, además, la mayoría de los papeles que se utilizan para el curado se someten a un tratamiento para reducir el grado de expansión y de contracción al mojarse y secarse.

En la norma ASTM C 171 tambien se incluye como requisito el reflejo, de forma tall que las hojas de papel con superficie blanca deberan de reducir la absorción y reflejar el calor, este papel se puede conseguir facilmente en el mercado.

La colocación se efectua de la misma forma que la película plástica, este material se puede usar cuantas veces se requiera siempre y cuando se observe que conserva su capacidad para retardar en forma efectiva la pérdida de humedad, esto es que no tengan pequeñas rasgaduras u orificios que se ocasionan por el efecto de caminar sobre el papel,

para detectar dichos orificios simplemente se sostendrá el papel a contraluz, estos orificios se pueden reparar de la misma forma que la película, y cuando se tenga duda sobre el material se podrán usar hojas dobles.

MEMBRANAS DE CURADO.

Los requisitos para usar compuestos para membranas de curado están dados por las normas ASTM C 309. La aplicación de membranas de curado se deben hacer sobre superficies que no vayan a recibir capas adicionales de concreto, pinturas o texturas que requieran buena adherencia. Para lograr una cubierta completamente buena es aconsejable hacer por lo menos dos aplicaciones perpendiculares, una con respecto a la otra, así mismo este compuesto se deberá aplicar con brocha ancha y/o con un rodillo y para obras muy grandes se podrá usar un compresor.

Para lograr máxima eficiencia de los compuestos líquidos para formar membrana se deberán aplicar después del acabado y tan pronto como haya desaparecido el agua libre sobre la superficie del concreto, de manera que no se aprecie el brillo de esta, pero antes que el compuesto líquido pueda ser absorbido por el concreto.

Estos compuestos son de color blanco, rojo y grises, los cuales tienen la función de reflejar el sol, el hacer el compuesto visible para la inspección, estos compuestos pigmentados deben agitarse para asegurar una distribución uniforme del pigmento durante la aplicación, a menos que la fórmula contenga un agente tixotrópico para prevenir sedimentación.

Como resumen, cada método tiene ventajas y desventajas, dependiendo el tipo de curado que se requiera hacer, de aquí que se tenga que hacer un estudio de todos estos métodos para saber cual nos de una mejor solución dependiendo el tipo y lugar de la obra, para que nos de un mayor rendimiento, mayor economía, mayor facilidad de uso y sobre todo el curado que nos de un concreto de mejor calidad el cual nos brinde todas las cualidades y características óptimas mencionadas en el capítulo I.

CAPITULO IV

NORMAS PARA EL CURADO DEL CONCRETO

CAPITULO IV

NORMAS PARA EL CURADO DEL CONCRETO.

IV . 1 .- AGUA PARA CURADO.

La necesidad de conocer los parámetros ideales que deben cumplir las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables para emplearse en la elaboración y curado del concreto hidráulico, ha hecho que se elaboren normas para obtener una mejor calidad del producto a obtener en este caso un buen concreto, estas normas establecen los requisitos mínimos que deben tener las diferentes clases de aguas a emplear para el curado o elaboración del concreto, así como también da a conocer la acción agresiva de los diferentes tipos de aguas que existen, pero para mejor entendimiento de estas normas se establecen las definiciones siguientes:

Aguas puras (lluvias, deshielo, nieve, granizo, manantiales pozos, etc) .- Bajo un punto de vista práctico, son aquellos cuyo grado hidrotimétrico es inferior a 6 y cuyo pH es aproximadamente 7. En general son aguas que no tienen sustancias disueltas o las tienen en cantidad mínima.

Aguas ácidas naturales .- Son aquellas que contienen una cantidad notable de gas carbónico libre, agresivo, ácido nítrico o ácidos húmicos y cuyo pH es inferior a 6, estas aguas provienen de turberas o pantanos que por descomposición de la materia orgánica son ricas en ácido húmico.

Aguas fuertemente salinas .- Son aquellas que tienen alta concentración de una o varias sales, tienen su origen en el alto poder disolvente de las aguas ácidas y de las puras, al atravesar diferentes terrenos.

Aguas alcalinas .- Son aquellas que han disuelto sales alcalinas de ácidos débiles y que tienen sales de potasio, litio u otros metales monovalentes del tipo alcalino, estas aguas provienen de terrenos graníticos o porfíricos.

Aguas sulfatadas .- Son las que contienen gran cantidad de sulfatos alcalinos de litio, sodio, potasio, calcio o magnesio, algunas de ellas tienen su origen en el ataque de terrenos dolomíticos y/o con yeso por las aguas puras o las ácidas.

Aguas cloruradas .- Son las que contienen en mayor proporción cloruros de elementos alcalinos, estas aguas se originan por atravesar yacimientos de sal o antiguos techos marinos.

Aguas magnesianas .- Son aquellas que contienen cantidades apreciables de sales solubles, de magnesio, tales como cloruros, sulfatos y principalmente bicarbonatos.

Aguas de mar .- Estas tienen gran cantidad de sales disueltas (aprox 35000 p.p.m o mas) y su origen se remonta al período terciario.

Aguas recicladas .- Se consideran como tales las que se usan para el lavado de unidades revolventoras de concreto y que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplean en la fabricación de concreto hidráulico.

Aguas Industriales .- Estas aguas provienen de los desechos de las industrias y dependiendo de su origen pueden ser ácidas, básicas o salinas, siendo las más perjudiciales para el concreto a aquellas que contienen sulfatos.

Aguas negras .- Proviene del desagüe de las poblaciones, su composición es muy compleja y varía en función de la distancia de su punto de origen.

IV. 2.- ACCIÓN AGRESIVA DE LAS AGUAS.

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto esta en función de la ausencia de compuestos en ellas o de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas o en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites, a continuación se mencionaran la forma en que actúan dichas aguas en el concreto:

a) Aguas puras .- Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos cálcicos del concreto.

b) Aguas ácidas naturales .- Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre y/o ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento de los agregados callosos y del concreto.

c) Aguas fuertemente salinas .- Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, estas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación.

Como aguas de mezclado su acción sobre la cal es la que interrumpe las reacciones del fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

d) Aguas alcalinas .- Estas producen la hidrólisis alcalina de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para toda una gama de cementos diferentes al aluminoso, los cuales sufren el ataque corrosivo con agua de esta naturaleza ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

e) Aguas sulfatadas .- Estas aguas pueden considerarse las más agresivas, en lo particular para los cementos ricos en cal total y aluminato tricálcico y en lo general para aquellos concretos o morteros fabricados con cementos de reacción básica tales como los portland. En general estas aguas propician la formación de una sal doble fuertemente hidratada conocida como sal de Candiot, que es un sulfo-aluminato-tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

f) Aguas cloruradas .- Estas aguas en general deben considerarse agresivas puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ellas es mayor que en las aguas puras, y en particular este efecto se incrementa en las aguas fuertemente cloruradas, que con la presencia de los cloruros alcalinos favorecen la solubilidad de varias sales agresivas. Por otra parte en determinadas concentraciones puede ejercer una acción disolvente sobre los componentes del concreto y del cemento y su agresividad es aun mayor en el caso del concreto armado.

g) Aguas magnesíacas .- Las aguas magnesíacas que contienen sulfato de magnesio, son las más agresivas por la gran solubilidad de este y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble. Cuando se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis su acción sobre la cal es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos portland con alto contenido de aluminato tricálcico.

h) Aguas de mar .- La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece al de las aguas sulfatadas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de estos últimos su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumulación superficial de calcaíta, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar.

Por otra parte el sulfato de calcio no está en el estado de saturación debido a la presencia de otros sulfatos tales como el de magnesio, que forman un depósito de magnesio insoluble en los poros del concreto, también contribuye a disminuir su agresividad, la acción inhibitoria, no despreciable, de los cloruros sobre el ataque de los sulfatos, sin embargo, el empleo de agua de mar en los concretos simples producen eflorescencias, en el concreto reforzado o pretensado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

i) Aguas recicladas .- Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables. Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión y estos no se toman en consideración, el concreto puede acusar los efectos propios del exceso de finos.

j) *Aguas Industriales* .- Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son perjudiciales para el concreto ya que contiene iones sulfato, ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de estos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolanicos, los de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker.

k) *Aguas negras* .- Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas, ya que sus efectos son imprevisibles y solo podría ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente y que contengan sustancias perjudiciales para el concreto dentro de los límites que se especifican en esta norma.

IV . 3 .- ESPECIFICACIONES.

Las aguas a las que se refiere esta norma que se pretenden usar para la elaboración y curado del concreto hidráulico, excluyendo de ellas al agua de mar, deben cumplir los requisitos que aparecen en la siguiente tabla:

IMPUREZAS	LÍMITES EN P. P. M.	
	Cemento rico en calcio	Cemento sulfato-resistente
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (flhos de cemento y agregados)	50000	35000

Cloruros como Cl⁻

***** Para concretos con acero de presfuerzo**

y piezas de puentes. 400 600

***** Para otros concretos reforzados en -
ambiente humedo o en contacto con -
metales como el aluminio, fierro gal-**

vanizado y otros similares. 700 1000

*** Sulfato como SO₄ 3000 3500**

*** Magnesio como Mg⁺⁺ 100 150**

Carbonatos como CO₃ 600 600

Dioxido de Carbono disuelto como CO₂ 5 3

Alcalis totales como Na + 300 450

Total de impurezas en solución 3500 4000

Grasas o aceites 0 0

**** Materia organica (oxigeno consumido**

en medio ácido) 150 150

Valor del pH No menos de 6 No menor de 6.5

*** Las aguas que excedan los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no excede dichos límites.**

**** El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia organica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el metodo de la NOM-C-88.**

*** Cuando se use cloruro de calcio como aditivo acelerante, la cantidad de este se deberá tomar en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla.

El agua de mar cuando sea imprescindible su empleo, se debe usar únicamente para la fabricación y curado de concreto sin acero de refuerzo.

El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites de la tabla anterior, se puede utilizar si se demuestra que en concretos de características semejantes elaborados con esta agua han acusado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición.

Para el muestreo y método de prueba del agua en cuestión, cumple con los requisitos, tendrá que estar de acuerdo con la norma NOM-C- 277 y NOM-C- 283 respectivamente, o por cualquier otro método que de resultados con el mismo grado de confiabilidad.

IV.4. CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO.

Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, deben cubrirse inmediatamente después de terminados, de preferencia con una placa o tapa no absorbente y no reactiva o con una tela de plástico resistente, durable e impermeable. Puede emplearse yute húmedo, deblendo de cuidarse el mantenerlo con humedad evitando el contacto con el concreto hasta que los especímenes sean extraídos de los moldes.

CURADO INICIAL.

Durante las primeras 24 horas después del moldeado, todos los especímenes de prueba deben almacenarse bajo condiciones que mantengan la temperatura adyacente a los especímenes en el intervalo de 16° a 27° C y prevenir pérdidas de humedad de los especímenes. La temperatura de almacenamiento puede regularse por medio de ventilación, o por evaporación del agua en arena o sacos de yute, o usando dispositivos de calentamiento tales como estufas, focos o cables de calefacción controlados termostáticamente. Un registro de la temperatura de los especímenes puede establecerse por medio de termómetros de máxima y mínima, los especímenes pueden almacenarse en cajas cerradas, en pozos de arena húmeda, en construcciones temporales en los lugares de edificación, bajo sacos de yute húmedos en climas favorables, o en sacos de plástico cerrados o usar otro tipo de métodos adecuados siempre y cuando se cumplan los requerimientos anteriores que limiten la temperatura del espécimen y la pérdida de humedad.

Los especímenes de prueba elaborados para comprobar las proporciones de la mezcla para propósitos de resistencia, o como base para la aceptación, deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 hrs después del moldeo permitiéndose un margen de entre 20 y 48 hrs y almacenarse de inmediato en una condición húmeda a la temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$ hasta el momento de la prueba.

El tratamiento de curado húmedo de los especímenes desmoldados significa que los especímenes de prueba tienen agua libre sobre toda la superficie en todo momento, esta condición se cumple por inmersión en agua saturada de cal a la temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$, o con almacenamiento en un cuarto húmedo, cuya humedad relativa sea del 95 al 100% y su temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$, los especímenes no deben exponerse al goteo o corrientes de agua.

CURADO DE CILINDROS PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE RETIRO DE LA CIMBRA O CUANDO PUEDE PONERSE EN SERVICIO UNA ESTRUCTURA.

Estos especímenes deben almacenarse en o sobre la estructura lo más cerca posible y recibir la misma protección que los elementos de la estructura que representen, los especímenes deben probarse en la condición húmeda que resulte del tratamiento de curado especificado y para cumplir estas condiciones se deberán seguir las disposiciones siguientes:

a) Curado de vigas .- Los especímenes de prueba para comprobar las proporciones de mezcla para resistencia a la flexión, como base de aceptación o para control de calidad, deben retirarse del molde entre 24 y 48 hrs después del moldeado, siguiendo las normas establecidas anteriormente, excepto que deben almacenarse durante un período mínimo de 20 hrs inmediatamente antes de la prueba, en aguas saturada de cal a $23 \pm 2^{\circ}$ C.

Debe prevenirse el secado de la superficie del espécimen al final del período entre el momento de retiro del espécimen de su curado, hasta el inicio de la prueba, dado que zonas secas de la superficie de los especímenes para flexión inducen esfuerzos de tensión en las fibras extremas que marcatamente reducen la resistencia a la flexión de los especímenes.

b) Curado de vigas .- Para determinar cuando puede ponerse una estructura en servicio, deben curarse los especímenes de la misma forma que el concreto en obra, a las 48 ± 4 hrs después de haber moldeado, deberán transportarse estos especímenes a un lugar seguro, de preferencia cercano al laboratorio de campo y retirarse los moldes.

Todos los especímenes de vigas deben retirarse del almacenamiento en el campo y almacenarse en agua de cal a $23 \pm 2^{\circ} \text{C}$, durante 24 ± 4 horas inmediatamente antes de la prueba para asegurar una condición uniforme de humedad, y deberán tomarse precauciones para evitar el secado entre el momento de retiro del curado hasta el inicio de la prueba.

Los especímenes que se trasladen del campo al laboratorio, se deberán transportar en cajas resistentes de madera u otros recipientes adecuados en condición húmeda y protegerse de la congelación durante su transporte, al recibirlos en el laboratorio deberán colocarse en el cuarto de curado a $23 \pm 2^{\circ} \text{C}$.

La base de apoyo de los especímenes deberá tener amortiguamiento necesario para evitar dañarlos.

IV . 5 .- CURADO EN CLIMA CALIDO.

El clima caliente crea dos condiciones, las cuales si no se toman en cuenta durante el periodo de curado, pueden causar un daño permanente al concreto.

- 1) Evaporación excesiva del agua.
- 2) Excesivo calor en el concreto fresco.

El curado en clima caliente debe de empezar tan pronto como sea posible después que el concreto ha sido colocado, si la superficie esta suficientemente endurecida para recibir el contacto cualquiera de los procedimientos de curado, vistos anteriormente, sin

que dejen huella, el concreto esta listo para ser protegido en contra de la pérdida del agua por evaporación y daño por calor.

IV . 6 .- CURADO EN CLIMA FRIO.

Una regla básica para el concreto en clima frío es que se debe de prevenir el congelamiento durante el curado, ya que toma el doble del tiempo para el concreto el fraguar y adquirir la resistencia necesaria, en la mayoría de los casos si la temperatura es de 10° C o menor que cuando esta a 25° C.

El desarrollo de la resistencia del concreto se retrasa en forma considerable a una temperatura menor de los 4° C , si no se llega a congelar, el curado continuará hasta que la temperatura aumente, si el concreto se llega a congelar es muy probable que sufra un daño muy severo.

La resistencia del concreto sometido a un ciclo de congelamiento a edad temprana puede ser restablecida a lo normal si las condiciones de curado son nuevamente satisfactorias, sin embargo ese concreto no tendrá la misma resistencia al intemperismo, ni la misma impermeabilidad de un concreto que no ha sufrido congelamiento, por lo tanto se deberán tomar medidas preventivas en climas fríos para evitar que las propiedades del concreto puedan ser reducidas en forma permanente.

El concreto deberá permanecer húmedo, independientemente del método de curado,

en caso de tener vientos fuertes, se recomienda colocar protecciones para evitar la evaporación, si se utilizan unidades de calentamiento, la estructura deberá ser rociada con agua y cubierta con material a prueba de agua.

IV. 7.- EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CURADO.

El reglamento ASTM C 156, puede ser usado para hacer una comparación de la retención del agua en los materiales y la efectividad del curado. El mantener un contenido satisfactorio de humedad ya sea por la aplicación directa de agua, con vapor, etc, nos da una condición de ser métodos ideales, pero se debe tener en cuenta que algunos métodos son satisfactorios solamente si tienen presencia de agua en forma constante y no se deje secar el concreto a tal grado que pueda afectar el desarrollo de las propiedades del concreto. El hacer un curado intermitente durante edades tempranas da como resultado un agrietamiento en la superficie y reduce la durabilidad de servicio.

La eficiencia de curado con membranas químicas o con papel impermeable, depende de la correcta aplicación de estos sobre la superficie del concreto, además hay que tener mucho cuidado en las juntas del papel, perforaciones, mal aplicación de la membrana, etc; ya que si se cura con estos materiales sin tener el debido cuidado se puede tener una pérdida de humedad considerable reduciendo con esto la resistencia del concreto.

No siempre es posible determinar el grado de eficiencia del curado, ya que entran en juego las condiciones atmosféricas a la hora de curar. En climas húmedos o lluviosos, se debe hacer un curado somero de los elementos de concreto, pero se tiene que cuidar el concreto fraguado durante las primeras horas después de descimbrar de lluvias fuertes, por

que pueden ocasionar un deslavado de los materiales del concreto y por consiguiente su posible erosión. Para lugares que tengan un clima de baja humedad o seco se debe prevenir de la pérdida excesiva de humedad del concreto.

IV. 8 .- FACTOR DE MADUREZ.

Como el esfuerzo logrado por el concreto es función del tiempo y temperatura cuando el secado prematuro es prevenido, la estimación del desenvolvimiento del esfuerzo en el concreto en una estructura puede hacerse por una relación del tiempo e incrementos de temperatura de los cilindros realizados con la misma mezcla del concreto que se colo bajo condiciones de laboratorio, esta relación se acepta por usar un factor de madurez, M , expresado como:

$$M = \sum (C + 10) Dt$$

donde:

C = Temperatura en grados Celcius

Dt = Duración del curado a una temperatura C , en horas o días.

La ecuación esta basada en la hidratación del cemento continuo y el esfuerzo, no dejando incrementar la temperatura por debajo de los -10°C , en el concepto de madurez, se hace uso del metodo de la superposición en el cual el esfuerzo es igual a la suma de las contribuciones de cada intervalo de curado cuando la temperatura es constante, como los métodos de curado en el laboratorio el signo de sumatoria no es necesario, en la practica actual la curva esfuerzo-tiempo es establecida por las pruebas del esfuerzo a compresión realizadas a una series de cilindros en el laboratorio a una temperatura estandar de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.

La transformación del intervalo de curado obtenido de los datos del factor tiempo de la curva de esfuerzo del laboratorio es completado por la siguiente ecuación:

$$Dt_2 = \left(\frac{C_1 + 10}{C_2 + 10} \right) Dt_1$$

donde:

C_1 = Promedio de temperaturas en el concreto, en grados Celsius, para el intervalo del tiempo Dt_1 (horas o dias).

Dt_1 = Tiempo, en horas o dias, para lo cual la temperatura del concreto se ha mantenido en C .

C_2 = Temperatura de curado de los cilindros en el laboratorio en grados Celsius.

Dt_2 = Tiempo, en horas o dias, de curado de los cilindros equivalente al tiempo de curado Dt_1 a diferentes temperaturas.

Estudios han mostrado que la transformación es razonablemente correcta cuando la información disponible acerca de la mezcla del concreto, pérdida de humedad del concreto, la temperatura del aire siempre y cuando no sean extremas y la temperatura del concreto sea relativamente constante.

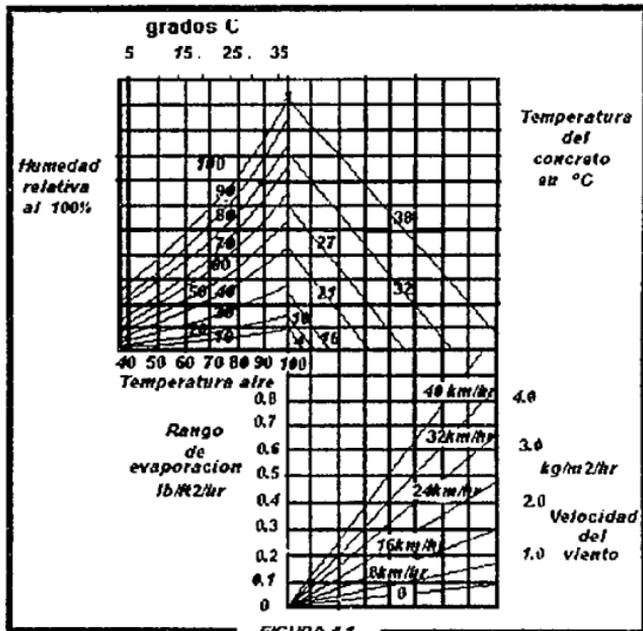
La siguiente información puede ser aprovechable de modo que se pueda estimar el esfuerzo del concreto *in-situ*:

a) La relación esfuerzo-tiempo del concreto bajo condiciones estándar de laboratorio.

b) Un registro de tiempo-temperatura en el lugar del concreto, donde este registro se puede obtener usando un termocople el cual se usa echándolo al concreto y variando su profundidad, la localización del termocople es aleatoria dándonos un valor bajo el cual nos da una temperatura, siendo esta usada por la computadora.

No es de sorprender la serie de curados prescritos, para los diferentes tipos de concreto dadas sus diferentes variantes, en cada caso la recomendación de curado estará basada en la práctica y en que sea suficiente.

La siguiente gráfica es la que tiene el reglamento ACI 308-81, en donde se pueden ver los efectos sobre el concreto de la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, los cuales afectan en forma adversa las propiedades del concreto debido a la evaporación del agua sobre la superficie del concreto; figura # 1.



CAPITULO V

USOS Y COSTOS DEL CURADO

CAPITULO V.

USOS Y COSTOS DEL CURADO.

V. I.- USOS EN LA CONSTRUCCION.

A) PAVIMENTOS Y OTRAS PLACAS SOBRE EL TERRENO.

1) *Generalidades* .- Las placas sobre el terreno incluyen pavimentos para carreteras, aeropuertos y estacionamientos de vehículos, revestimientos de canales, andenes y losas de piso en edificios. Las placas tienen una alta relación de superficie expuesta a volumen de concreto y sin un curado inicial adecuado, la pérdida de humedad debida a la evaporación puede ser tan rápida que produzca fisuras por retracción plástica y afecte la resistencia mecánica, la resistencia a la abrasión y la durabilidad. Otra causa de pérdida de humedad rápida del concreto fresco es la absorción de agua por el suelo cuando no está suficientemente humedecido antes de la colocación del concreto, este problema se puede evitar colocando un material impermeable entre el terreno y las placas, el curado debe iniciarse tan pronto como sea posible.

La alta relación de superficie expuesta a volumen de concreto puede también ocasionar variaciones excesivas de temperatura del concreto curado inadecuadamente, las cuales inducen esfuerzos que, si superan la resistencia a la tracción, producen fisuración de las placas. Como el tipo de curado seleccionado influye en los cambios de temperatura del concreto, se recomienda el empleo de métodos que tiendan a minimizar las variaciones iniciales de temperatura bajo condiciones normales.

2) *Procedimiento de curado* .- Después de que las operaciones de acabado se han terminado y tan pronto como han endurecido el concreto lo suficiente para no sufrir daños, toda la superficie del nuevo concreto se debe tratar con algún método descritos en los capítulos II y III, o combinaciones de ellos.

Bajo condiciones normales de colocación se pueden emplear indistintamente los materiales sellantes o el curado continuo bajo tejidos mojados u otros materiales adecuados.

Si se empieza a desarrollar fisuración por retracción plástica, el concreto se deberá curar inicialmente con atomizadores o mediante la aplicación de materiales sellantes.

Las superficies expuestas de la losa se debe cubrir la superficie de concreto con compuestos de curado líquidos que formen membranas, láminas de polietileno, papel impermeable, tierra paja o inundando.

3) Duración del curado .- Para temperaturas por encima de 4 °C, el periodo mínimo de curado recomendado para todos los procedimientos es 7 días o el tiempo necesario para lograr el 70 % de la resistencia a flexión o a compresión especificadas, el que sea menor, si el concreto se coloca a temperaturas de 4 °C o menores, se deben tomar precauciones para prevenir daño por congelamiento, tal como lo recomienda el Informe del comité ACI 308.

B) ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS.

1) Generalidades .- El concreto en estructuras y edificios incluye paredes vaciadas in-situ, columnas placas, vigas y todas las demás partes de un edificio, excepto placas sobre el terreno, además incluye pilas, muros de contención, tableros de puentes, tuneles; no incluye concretos masivos, elementos prefabricados u construcciones especiales, las cuales se mencionarán más adelante.

2) Procedimiento de curado .- Bajo condiciones normales, el curado se debe hacer empleando los métodos descritos en el capítulo II y III.

Cuando se necesite curado adicional para las superficies inferiores se puede aplicar inmediatamente un compuesto líquido que forme membrana o rociar suficientemente para mantener la humedad.

En las superficies hechas con cimbra, después que el concreto ha endurecido y mientras este todavía colocada, se puede aplicar agua de manera que corra por dentro de la

cimbra para mantener el concreto mojado, inmediatamente despues de retirar la cimbra, las superficies se deben mantener continuamente mojadas mediante un atomizador de agua o tejidos saturados o ser cubiertas por membranas químicas.

3) Duración de curado y protección .- Por encima de 4 °C, el curado debe ser continuo por un mínimo de 7 días o por el tiempo necesario para alcanzar el 70% de la resistencia especificada a la flexión o a la compresión, el que sea menor, Si el concreto se coloca a una temperatura de 4 °C o menos, se deben tomar precauciones para prevenir daños por congelamiento, tal como lo recomienda el Informe ACI 306, para algunos miembros estructurales tales como columnas de concreto de alta resistencia (420 kg/cm², 41.2 Mpa o mas) los periodos de curado se pueden aumentar a 28 días o más para permitir el desarrollo de la resistencia potencial del concreto, si para alguna razón se hace necesario remover la cimbra, antes de que el concreto haya adquirido la resistencia requerida, se deben tomar las precauciones del caso para hacer un curado adicional bajo condiciones controladas.

C) CONCRETO MASIVO.

1) Generalidades .- El concreto masivo se define como " cualquier volumen de concreto vaciado in-situ, con dimensiones lo suficientemente grandes como para requerir que se tomen medidas para controlar la generación de calor y los cambios de volumen a fin de minimizar la fisuración".

Su mayor utilización es en pilas grandes, estribos de puentes, presas, construcciones voluminosas similares, etc; generalmente el contenido del cemento (o de material cementante total) varía entre 120 y 240 kg/m³, el concreto masivo tambien se emplea en grandes vigas y columnas que requieren altas resistencia, alto contenido de cemento y un tamaño moderado del agregado, debido al calor generado por estos altos volúmenes de concreto, el control de la temperatura asume una importancia considerable, se deben seguir las prácticas que a continuación se recomiendan para el curado, el control de la temperatura y la humedad.

2) Control de la temperatura .- Para estructuras muy grandes no reforzadas, como las presas, donde los criterios de diseño son tales que es necesario establecer una

temperatura razonablemente estable y uniforme a través de toda la masa, tan rápido como sea posible después de la colocación especialmente con el fin de evitar agrietamientos, la temperatura interna durante la hidratación no se debe elevar más de 11 °C por encima de la temperatura media anual del ambiente, con este fin, además de controlar la temperatura del concreto al momento de su colocación, puede ser necesario un sistema de enfriamiento dentro de la masa, por otra parte, la cantidad total de calor desprendido se disminuye empleando un cemento bajo en calor de hidratación o un contenido de cemento reducido en combinación con una puzolana.

Según el Informe del Comité 207 de ACI se describen los métodos para controlar las temperaturas en el concreto masivo.

En elementos masivos muy reforzados se han medido temperaturas internas hasta de 55° C durante el endurecimiento, aunque no se han observado daños aparentes, es aconsejable evitar estos incrementos de temperatura durante los primeros días.

3) Método y duración del curado.- Se recomienda curado con agua para mantener mojadas paredes horizontales o inclinadas de concreto masivo no cimbrado, bien sea empleando atomizadores, arena mojada o tejados saturados; se puede utilizar un compuesto líquido que forme membrana; si la superficie es una junta de construcción dicha membrana se debe eliminar con chorro de arena antes de la colocación del concreto adyacente.

En las superficies hechas con cimbra, después que el concreto ha endurecido y mientras ellas están todavía colocadas, se puede aplicar agua de manera que corra por dentro de la cimbra para mantener el concreto mojado, inmediatamente después de retirar la cimbra las superficies se deben de mantener continuamente mojadas por medio de un atomizador de agua o tejido saturado.

El curado debe empezar tan pronto como el concreto ha endurecido lo suficiente para evitar daños en la superficie, para secciones no reforzadas de concreto masivo que no contengan puzolanas, el curado debe de continuar durante no menos de 2 semanas, cuando se emplea puzolana como una de los materiales cementantes, el tiempo mínimo de curado deberá ser de 3 semanas, para las juntas en construcción, el curado debe mantenerse hasta

la reiniciación de la colocación del concreto o hasta que el periodo requerido de curado se complete, para secciones de concreto masivo muy reforzado, el curado debe ser continuo durante 7 días por lo menos.

D) PREFABRICADOS.

1) Generalidades .- Un prefabricado es un producto de concreto fundido, curado y terminado en un lugar o posición distinto del que va a ocupar en servicio, algunos prefabricados típicos son tubería de concreto, bloques y miembros estructurales tales como vigas, columnas, tabiques y placas de piso, a estos productos se les da generalmente una clase de curado acelerado con el fin de lograr un uso económico de los moldes y del espacio de fabricación.

Debido a la gran variedad de productos y de métodos de manufactura, se utilizan diferentes procedimientos de curado, los bloques, algunos tipos de tubería y otros productos se retiran de los moldes inmediatamente después de fundidos dejando la mayor parte de su superficie expuesta al medio ambiente, los grandes tubos prefabricados y los muros construidos verticalmente, permanecen casi completamente dentro de sus moldes durante las primeras 12 a 24 horas, las vigas y los muros fabricados horizontalmente son un caso intermedio de exposición, por que aunque los productos permanezcan en sus moldes, gran parte de su superficie no queda cubierta, el curado de ellos requiere gran cuidado para asegurar que no haya pérdida de agua en la superficie

Aunque estos productos se pueden curar a temperaturas normales, la mayoría de ellos se curan a temperaturas que varía de 52 a 85 °C, durante 12 a 72 horas, el curado de prefabricados en autoclave se hace a temperaturas por encima de los 160° C durante 5 a 36 horas, las recomendaciones concernientes a los procedimientos de curado con vapor ya se han tratado en el capítulo II y III.

E) CONSTRUCCIONES ESPECIALES.

1) Construcción vertical con cimbra deslizante .- las chimeneas, silos y otras estructuras que se construyen utilizando cimbra vertical deslizante deben curarse de acuerdo con los procedimientos empleados en otras superficies verticales, pero teniendo en cuenta los problemas particulares que implica este tipo de construcción; por ejemplo, reciben de la cimbra un pequeño curado inicial, el uso de un compuesto de curado puede no ser aconsejable en el interior de ciertos silos, debido a la posible contaminación del material que va almacenarse en ellos, ni en su exterior, debido a las variaciones de color que podrían resultar de la aplicación dispereja del compuesto; para curarlos se calienta el interior y se cierra para mantener una alta humedad.

2) Concreto lanzado .- Debido a que la colocación del concreto lanzado generalmente se hace en capas muy delgadas y de superficie rugosa, se recomienda mantenerlos mojados durante por lo menos 7 días, el curado con membrana líquida es satisfactorio si las condiciones de secado no son severas y no se va aplicar otra capa de concreto o de pintura y además la apariencia es aceptable, debido a la superficie aspera, los compuestos líquidos que forman membrana se deben aplicar en mayor cantidad que sobre superficies ordinarias, normalmente alrededor de 2.4 m²/litro.

3) Concreto refractario .- El cual emplea como ligante cemento a base de aluminato de calcio, se debe curar de acuerdo con las indicaciones del fabricante, normalmente, para dichos concretos el curado se completa 24 horas después de mezclado, el método de curado debe ser tal que nunca alcance una temperatura superior a 21 °C y por lo tanto no se deberá emplear curado térmico, se emplea con frecuencia el curado a base de agua con atomizador o rociador, o un adecuado compuesto de curado que forme membrana, la aplicación del agua o de la membrana de curado se debe iniciar tan pronto como la superficie no sufra daño, también se pueden usar tejidos saturados.

4) Lechada de cemento y mortero para aplanados .- Una vez aplicados se pueden humedecer con atomizador utilizado para humedecer las superficies sobre las cuales se colocan estos materiales, el agua se debe rociar sobre toda la capa, de 2 a 3 veces por día cuando menos por 2 días a partir de su terminación, la frecuencia del rociado depende de las

condiciones climáticas y se debe iniciar tan pronto como la lechada y/o mortero hayan endurecido lo suficiente como para no sufrir daño, lo que ocurre normalmente alrededor de 12 horas, después de su aplicación, se debe evitar el exceso de agua para que no fluya sobre la superficie.

5) Estructuras laminares.- Dado su poco espesor, son excepcionalmente susceptibles a fisuración por retracción si se curan inadecuadamente, un clima cálido se aconseja curado inicial con rociadores seguido de curado mediante tejidos húmedos o directamente con agua, en clima frío se requieren precauciones especiales contra congelamiento, tales como mantas protectoras o acelerantes, en clima moderado de 4 a 21 °C los compuestos que forman membrana son satisfactorios aunque el curado con materiales mojados pueden producir mejores resultados.

6) Concreto aislante .- Las superficies de concreto aislante, en el cual se logran pesos unitarios secos de 800 kg/m³ o menos empleando agregados minerales de baja densidad y aire incorporado, normalmente se deben mantener húmedas por un tiempo no menor de 3 días siguiendo algún procedimiento visto en el capítulo III, el concreto aislante se debe dejar secar al aire antes de su aplicación de capas de impermeabilizantes u otras capas suplementarias,

El curado por inmersión o con excesiva cantidad de agua no es recomendable debido a que el concreto podría absorberla en mayor cantidad que la que necesita para la hidratación, lo cual afectaría sus propiedades aislantes.

V. 2. - COSTOS DE CURADO.

En la actualidad ha ido estandarizandose el costo del curado, debido a la gran cantidad de productos que existen en el mercado, como la gran cantidad de distribuidores que ofrecen sus productos y solo cuando sale al mercado un nuevo producto o una nueva técnica es cuando se incrementa el costo en el caso que se desee emplear estos.

En nuestro país los procedimientos que se han empleado a gran escala, van de acuerdo a la geografía del país, debido a que sería muy difícil transportar elementos prefabricados de grandes dimensiones los cuales usan métodos tales como el curado por electricidad o el curado por autoclave, con los cuales elevaría en gran medida el costo si no de la pieza, si de la transportación hacia la obra, por lo que no se han desarrollado estos métodos como en otras partes de Europa o Norteamérica.

Por lo tanto, se puede decir que los métodos más utilizados en México, en orden descendente, son:

- a) Curado con agua.*
- b) Curado por capas químicas.*
- c) Curado a vapor de baja presión.*
- d) Curado a vapor de alta presión.*
- e) Curado por electricidad.*

V.2.1.- CURADO CON AGUA.

El costo del curado con agua, varía de acuerdo a la región del país, ya que zonas muy áridas tales como el norte del país, el costo se puede elevar de tal modo que resulte más económico utilizar otro método que usar el agua, sin embargo en lugares donde abunda el agua tal como el noreste del país resulte casi regalado el costo.

Los precios del costo del agua dependiendo de la región se puede clasificar de la siguiente forma:

	Costo / m ³
1) norte	N\$ 80.00 - 50.00
2) sur	N\$ 60.00 - 30.00
3) noreste	N\$ 15.00 - 5.00
4) noroeste	N\$ 30.00 - 20.00
5) sureste	N\$ 25.00 - 10.00
6) suroeste	N\$ 35.00 - 15.00
7) centro	N\$ 20.00 - 10.00

Estos precios van de acuerdo a la importancia (volumen de obra), disponibilidad del líquido, así como el acuerdo que lleguen las partes tanto como vendedor como el comprador, la cual es la más importante en algunas ocasiones.

V . 2 . 2.- CURADO POR MEMBRANAS QUIMICAS.

Este método de curado es el más usado después del agua debido a su facilidad de transportación, como de aplicación, además que se puede almacenar en grandes cantidades ya sea normal (listo para usarse) o concentrado (el cual se puede rebajar con agua en obra) sin sufrir deterioro alguno, otra de las características fundamentales de este procedimiento es su efectividad de curado el cual alcanza del orden de 80% al 90 % cuando es bien aplicado y de 70% al 85% cuando se aplica sin ninguna supervisión, el color que en algunos casos se le añade a estos líquidos solo sirve para llevar una supervisión visual del lugar que se aplica, pero que casi siempre este color desaparece con el tiempo, del tipo de presentación, el cual en algunos casos es concentrada es mas que nada para reducir en un caso dado el costo por transportación (flete) y/o cuando no se tiene espacio suficiente en donde se pueda almacenar una gran cantidad de tambos o cubetas.

Debido a la gran cantidad de marcas que existen en el mercado se ha sacado una media de precios los cuales se muestran en la tabla siguiente :

marca	nombre del producto	presentacion		precios	
		tambo	cubeta	tambo	cubeta
Bautech	Curabau rojo	200 lts	19 lts	N\$ 560.00	N\$ 60.00
	Curabau blanco	200 lts	19 lts	N\$ 630.00	N\$ 65.00
Curacreto	Curacreto rojo N	200 lts	19 lts	N\$ 470.00	N\$ 57.00
	Curacreto blanco N	200 lts	19 lts	N\$ 515.00	N\$ 76.00
	Curacreto azul	200 lts	19 lts	N\$ 600.00	N\$ 87.00
	Curacreto blanco JR	200 lts	19 lts	N\$ 564.00	N\$ 67.00
	Curacreto I	200 lts	19 lts	N\$ 486.00	N\$ 63.00
Imporquímia	Curaqilm E blanco	200 lts	-	N\$ 387.00	-
	Curaqilm E Blanco concentrado 200%	200 lts	-	N\$ 544.20	-
	Curaqilm E rojo concentrado 200%	200 lts	-	N\$ 590.00	-
	Curaqilm S rojo	200 lts	19 lts	N\$ 397.00	N\$ 65.00
	Curaqilm S blanco	200 lts	-	N\$ 555.00	-
	Curaqilm S rojo concentrado 200%	200 lts	-	N\$ 750.00	-
	Fester	Curafest blanco	200 lts	19 lts	N\$ 560.00
Curafest rojo		200 lts	19 lts	N\$ 494.0	N\$ 60.50
Pacsa	Protecto curex blanco S	200 lts	19 lts	N\$ 500.00	N\$ 60.00
	Protecto curex rojo S	200 lts	19 lts	N\$ 450.00	N\$ 56.00
	Protecto curex blanco E	200 lts	19 lts	N\$ 520.00	N\$ 60.00

marca	nombre del producto	presentacion		precios	
		tambo	cubeta	tambo	cubeta
Proconsa	Curaconsa rojo	200 lts	19 lts	N\$ 570.00	N\$ 63.00
	Curaconsa blanco	200 lts	19 lts	N\$ 640.00	N\$ 70.00
	Curaconsa APD				
	rojo o blanco	200 lts	-	N\$ 390.00	-
	Curaconsa blanco				
	concentrado	200 lts	-	N\$ 1067.00	-
	Curaconsa rojo				
concentrado	200 lts	-	N\$ 853.00	-	

Estos precios varían como ya se ha dicho, al volumen de obra, disponibilidad de marcas y en gran medida al arreglo que se llegue tanto de precio, garantía de suministro, crédito y relaciones que se tengan.

V. 2. 3. - CURADO A VAPOR DE BAJA PRESION.

Este método es normalmente más usado en la prefabricación de piezas de concreto, tales como vigas postensadas como pretensadas de pequeñas dimensiones (20 a 30 mts de longitud), tubos de concreto tanto de agua negras como agua potable, dovelas, así como cualquier pieza prefabricada de concreto.

Esto es por la rapidez que existe de este método de que el concreto alcance su resistencia de diseño, por lo que se puede mover más rápido la cimbra o moldes y las instalaciones con lo cual se llega a reducir el costo de las piezas en un 20 a 25% de su costo usando otros métodos, además de reducir el tiempo de la obra en un 40% a un 50% aproximadamente.

Pero tambien se utiliza para el curado en losas sólidas con traves de hasta 80 cms de peralte, losas reticulares hasta de 50 cms, columnas, traves, etc, dentro de una obra en particular, esto es posible debido a la gran versatilidad de aparatos que existen en el mercado los cuales se pueden transportar fácilmente a la obra no requiriendose de instalaciones especiales para su uso.

Cuando empezó la introducción de este método de curado en México se llegó a utilizar en gran cantidad con lo cual en un principio se elevaron sus costos, normalizandose a través del tiempo, pero se vio en algunas obras en donde se uso este método que se empezaron a agrietar los elementos de concreto, con lo cual no se quiere decir que no sirva el método pero se cayó en la desconfianza de su uso, en la actualidad solo existen algunas compañías que usan este método de curado, y que solo se usa cuando es muy urgente la puesta en servicio de las obras.

Estas empresas, tienen una serie de condiciones con las cuales debe cumplir la obra como el cliente tales como:

a) El servicio de curado se iniciara despues del fraguado inicial (2-3 hrs); no existiendo ningun impedimento tecnico para iniciarlo a cualquier edad posterior.

b) La zona por curar debera estar desalojada de obreros durante el tiempo de curado.

c) El cliente debera poner a la disposición de la empresa, agua necesaria (aprox 80 lts/m³) y la corriente electrica trifasica (220 volts, 7.5 kwh) en un interruptor de 3 lineas de 40 amp.

d) El cliente deberá proporcionar a la empresa el material complementario para la formación de la cámara de curado tal como madera, blocks, varillas, alambre recocido, etc.

e) El cliente deberá facilitar un programa de colado y debera confirmarlo cuando menos 24 hrs antes de cada uno de ellos; los demas fuera del programa con 72 hrs de anticipación.

f) El agua y la corriente trifásica deberán estar a una distancia máxima de 30 mts del elemento a curar.

g) El pago sera por adelantado.

El cobro usando este método es por metro cúbico curado siendo este el que sigue:

Compañía	M ³ mínimos	costo/m ³ .
Servicios y sistemas con vapor	30	N\$ 31.00
Auxiliares técnicos para la construcción S.A.	25	N\$ 37.00

V. 3. 4.- CURADO CON VAPOR A ALTA PRESION.

Este método tiene la misma o mejor efectividad que el curado a vapor a baja presión, sin embargo el costo de las instalaciones llega a ser tan elevado que para recuperar la inversión se tendrían que tener asegurados una cantidad tal de concreto, para que fuera económicamente factible, en México existen algunas compañías que utilizan este método y están en donde existe un polo de desarrollo, con lo cual se garantiza la recuperación del capital que se ha invertido.

El costo del curado va a variar de acuerdo a las dimensiones de las piezas, el número de piezas, etc; además para que presten sus servicios estas compañías requieren ciertos requisitos tales como:

a) El cliente deberá proporcionar a la empresa un programa real de suministros de las piezas requeridas, de las cuales deberá detallar el número de piezas que se requieran, así como las dimensiones de las mismas.

b) El cliente deberá firmar con la empresa un contrato en el cual se pondrá una fianza a favor de la empresa, con la cual estará protegida en caso de negligencia por parte del cliente.

c) Los pagos se harán conforme a la entrega de las piezas, siendo estos efectuados con cheque certificado a nombre de la empresa.

d) La empresa se compromete con el cliente, a que en caso de no surtirle las piezas pedidas conforme al programa citado le bonificará un porcentaje a su favor.

e) La transportación de las piezas será por cuenta del cliente, a no ser que se llegue a un arreglo con la empresa.

El cobro usando este método es por metro cúbico siendo este el que sigue:

	intervalo	costo/m ³
	0 - 50	N\$ 115.00
	51 - 100	N\$ 100.00
Piezas de concreto	101 - 200	N\$ 95.00
presforzado - postensado	201 - 300	N\$ 90.00
	301 - Adelante	N\$ 82.00

V. 3. 5.- CURADO POR ELECTRICIDAD.

Este procedimiento de curado no es usado en nuestro país debido a que no existe una condición extrema de temperatura por debajo de los -10 °C, además la poca o falta de investigación en nuestro país de este método, ya sea para adecuarlo o mejorarlo, ha sido nula.

Con lo cual solamente se puede conocer el costo de este método en los países que si lo utilizan, tales como Norteamérica y Europa, debido a que no existe un costo aproximado que se pueda obtener, en nuestro país, más que solamente a nivel laboratorio, por lo que para este trabajo se tomaron los precios de los países que si lo utilizan, siendo estos los siguientes:

país	costo/m3	m3 mínimos
Norteamérica	N\$ 95.00	40
Europa	N\$ 86.00	45

Estos precios estan tomados en base al costo de los materiales que se quedan ahogados dentro de las piezas, las cuales son irrecuperables en su gran mayoría, para emplearlas en otro colado, no así el costo de la energía eléctrica que se ocupa la cual en estos países llega a tener un precio más reducido debido a las diferentes formas de generación, siendo esta por medio de presas (Norteamérica) llegando hasta la energía nuclear (Europa), teniendo con esta última la expectativa que en un futuro se reduzcan aún más estos precios.

CONCLUSIONES

De lo visto anteriormente se pueden hacer varias conclusiones, las cuales se deben tener muy presentes para evitar que se presenten problemas en las obras, siendo estas las siguientes:

1) Al hacer un concreto para una obra en especial, sea cual fuere el tipo de cemento, tipo de agregados, o aún el proporcionamiento mismo para que nos de mayor o menor resistencia; se tiene que tener un seguimiento del proceso para obtener un concreto de alta calidad, el cual se obtendrá en muchas ocasiones no tanto a la buena o mala calidad de los materiales con que se fabrique, si no por el curado que se efectue, el cual deberá ser el mínimo que se recomienda por las normas establecidas que rigen este aspecto.

2) Los cementos que existen en el mercado, debido a pruebas exhaustivas que se les han realizado, se ha llegado a conocer el comportamiento que toman tanto de su fraguado como de su endurecimiento, por tanto existe una basta bibliografía, en la cual nos podemos apoyar, para conocer los pros y los contras de usar uno u otro tipo determinado de curado, con lo cual nos aseguraremos de tomar una decisión acertada, para obtener el concreto deseado.

3) En México, debido a su geografía, no existen cambios bruscos de clima y/o de temperatura como en otros países, con lo cual se puede en un momento dado predecir los daños que le puedan perjudicar al concreto debido a estos dos conceptos los cuales influyen directamente y en su caso poder tomar medidas preventivas, para que no se presenten contratiempos a la hora de colar o cuando ya este colocado el concreto. además de tener la precaución de que el concreto no pierda el agua de mezclado original debido a efectos externos tales como la absorción de agua en los agregados, suelo, etc; los cuales se pueden prevenir con tiempo.

4) Otro aspecto muy importante es el tiempo que se tenga que hacer el curado del concreto, el cual siempre va a estar subordinado a la producción, rotación tanto de moldes, cimbras, instalaciones, etc; el cual no deberá sobrepasar el límite fijado por las normas, ya que se tendría una pérdida de capital invertido afectando adversamente al costo de una obra en común.

5) Existen diferentes tipos de curado, en los cuales se dan procedimientos a seguir; pero todos estos tipos se basan siempre en dos principios básicos los cuales son: 1) el mantener un suministro de agua adicional para asegurar la hidratación del cemento y 2) mantener una temperatura adecuada para obtener así un buen concreto. Estos principios aunque son muy fáciles de seguir en laboratorio, en la práctica es muy difícil debido a los diferentes casos que se pueden presentar en las obras y a la falta de experiencia del personal que labora.

6) Como se ha visto, todos los tipos de curado sirven para un fin específico, más no todos se pueden aplicar a la obra en sí, esto quiere decir que usar algunos tipo de curado nos resultaría contraproducente si lo empleáramos en la obra directamente, por lo que hay que estudiar muy bien el tipo de curado que se va a emplear, comparando los que existen a fin de obtener la mejor opción tanto en rapidez como en costo.

7) Los diversos procedimientos que hay para el curado del concreto, han sido investigados por diversos Ingenieros, químicos, etc; los cuales llegan de un procedimiento en particular a uno general, además existen diversos criterios que se contraponen, por lo que en ocasiones hay que aplicar el criterio, formado con la experiencia de cada uno. Otro motivo de que no se empleen todos los procedimientos mencionados de curado de concreto en México, es por la poca o nula investigación que se hace en nuestro país, teniendo en su mayoría que aceptar los criterios externos.

8) Las normas de curado de concreto que se emplean en México han sido en su gran mayoría traducidas textualmente de las normas del A.C.I, en las cuales solamente se han cambiado algunos de los parámetros, debido a que se han tenido que adecuar a las necesidades del país, no queriendo decir con esto que no exista calidad en las obras que se construyen, simplemente porque en algunas ocasiones son más prácticas.

9) Se puede afirmar sin temor a equivocarse, que en todas las obras en las que se utilice concreto se tendrá que aplicar algún tipo de curado para el concreto, queriendo decir con esto que siempre se tendrá que hacer la consideración del costo de curado dentro del presupuesto de la obra, estos costos se tendrán que analizar cuidadosamente a fin de obtener el menor costo obteniendo con esto la máxima eficiencia de los tipos de curado que se vayan a utilizar.

10) Para concluir, puedo decir que al realizar este trabajo, me encontré que no hay mucha información acerca del tema, y la que existe está dispersa en diversas publicaciones haciendo más difícil su investigación y recopilación de la información, por lo que se deberían de hacer libros específicos sobre este tema en los cuales se pudiera juntar toda la información que existe en los diversos países, y actualizarla periódicamente para hacer más fácil su consulta, y que sirvan a su vez como libros de apoyo para la impartición de cátedra y sea de utilidad para los futuros Ingenieros.

BIBLIOGRAFIA.

LIBROS.

ACI " Manual of concrete practice, part I ".

ACI STANDARD RECOMMENDED PRACTICE FOR CURING CONCRETE.

ACI Committee 308, Detroit Michigan 1981.

ACI " Menzel symposium on high pressure steam curing ".

ACI Committee 516, SP - 32, 282p, Detroit Michigan 1972.

ASOCIACION CENTROAMERICANA DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

" Curado del concreto ".

TAC - No. 4 (s.a), 6p, San Jose Costa Rica.

CHIOCCIO G. " Aspects of high pressure steam curing ".

8º International congress of the precast concrete industry, No. 5, 28p, Stresa Italia 1975.

FARAGJI MARCOS J. " Curado con vapor. ".

Construcción y control de calidad de obras de concreto, IMCYC 1973, vease p 166 - 170.

NEVILLE A.M. " Steam curing at atmospheric pressure. ".

Properties of concrete, London Pitman Publishing Ltd, 1975, vease p 280-289.

SOROKA I. " Steam curing of lightweight-aggregate concrete under atmospheric pressure. ".

8º International congress of the precast concrete Industry, 13p, Stresa Italia 1975.

U.S. Department of the Interior, " Steam curing. ".

A water resources technical Publication, vease p 381 - 391, Washington D.C., 1975.

REVISTAS.

" Agentes químicos del curado ".

Construcción y tecnología, Febrero 1989, 1p.

ASOCEM, " Curado del concreto ".

Boletín Técnico del Cemento, NO. 2, (Lima diciembre 1982), 6p.

CALLEJA JOSE. " Métodos de endurecimiento térmico del hormigón ".

Materiales, Maquinaria y Métodos para la Construcción, no 92, p 429 - 450, (España mayo 1975).

CAMPBELL G. " Development of mix designs for strength durability of steam cured concrete ".

Concrete International, no. 7, (julio 1993), 3p.

DHIR R.K.

" Membrane curing of concrete: water vapour permeability of curing membranes ".

Magazine of Concrete Research, Vol 41, no 149, (diciembre 1989), p 193 - 198.

DURAN RIGOL E, " Curado a elevada temperatura del hormigon pretensado ".
Hormigon y Acero, no 104, (1972), p 117 - 132.

" Endurecimiento eléctrico del hormigon ".
Acero y Hormigon, no 531, (marzo 1978), p 256 - 272.

ESTRADA VELASCO M. " El desarrollo de la resistencia en el concreto con curado acelerado ".
Revista IMCYC, no 69, (julio - agosto 1974), 15p.

GUIDE TO GOOD PRACTICE, " Acceleration of concrete hardening by thermal curing "
no 9/7, (marzo 1982), 16 p.

HAMBURG. E, " Concrete curing ".
Danks beton, no 2, (mayo 1980), 10p.

KAFRY I. D. " Curado eléctrico de cubos de prueba ".
Revista IMCYC, no. 107, (1980), 4p.

KEENE P.W, " Curado a elevada temperatura del hormigón pretensado ".

Hormigón y Acero, no. 104, (España 3º trimestre 1972), p 117 - 132.

KIESLING E. " Curing concrete, That the point ".

Betonwerk fertigtell technik, no. 1, 1993, 7p.

KORHONEN C. " Strength development of concrete cured at low temperature ".

Concrete international, (trilembre 1992), 6p.

MARTINET C. " Endurecimiento acelerado del concreto mediante electricidad ".

Revista IMCYC, no. 64, (septiembre - octubre 1973), 8p.

MEDINA F, " Curado del hormigón ".

Ingeniería Civil, Vol XIX, no. 2, (Cuba febrero 1969), p 145 - 154.

MENA FERRER M." Madurez y curado del concreto ".

Revista IMCYC, no 78, (enero - febrero 1976), 14p.

MTSCHELOW - PETROSSIAN.

"Condiciones optimas para el tratamiento con vapor del hormigon".

Materiales de Construcción, no. 155, (España 3er trimestre de 1974), p 5 - 8.

" New techniqes of accelerated concrete curing".

Concrete Construction, Vol. 16, no. 1, (Nueva Zelanda febrero 1972), p 28 - 29.

" Nuevo procedimiento para el curado de losas de concreto a vapor".

Construccion Mexicana, no. 3, (Mexico marzo 1971), p 38 - 48.

SANDVIK M. " High curing temperatures in lightweight high strength concrete".

Concrete International, (diciembre 1992), 3p.

SMITH L.M and WOODFIELD

" Pumice concrete, high temperature steam and cracking characteristics".

Concrete Construction, Vol 16, no. 6, (Nueva Zelanda diciembre 1972), p 20 - 27.

SUPRENAT BRUCE

" Making god concrete even better, answers to common questions about curing".

Concrete Construction, Vol 33, no 8, (agosto 1988), p 743 - 748.

TGNON G.

" Rapid hardening cements for concrete with a normal and acelerated curig time".

L'Industria Italiana del Cemento, no 8, (agosto 1965), p 475 - 490.