

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CONTROL Y VERIFICACION DEL CONCRETO HIDRAULICO**

**PRINCIPIOS GENERALES DEL CONCRETO**

**AUTOR: ING. LUIS GARCIA CHOWELL  
EXPOSITO: ING. PEDRO MORA PEREZ**

1996

Handwritten notes and symbols, including a large 'C' at the bottom center and various illegible markings.

## INFLUENCIA DE MATERIAS PRIMAS EN EL CONCRETO

---

- a) Una de las características del cemento que influye en el comportamiento fresco es el de la prueba **blaine** o superficie específica, cuando existe un aumento de finura significa un mayor número de partículas en un peso determinado y, por tanto, mayor superficie de cemento disponible para estar en contacto con el agua. Consecuentemente, mayor finura representa, usualmente más requerimiento de agua y mayor rapidez de hidratación los efectos que provoca son: mejor manejabilidad en las mezclas de concreto, mayor poder de retención del agua (menor sangrado) y más rápida obtención de resistencia, así mismo provoca efectos indeseables como: mayores contracciones, desarrollo más rápido de calor y mayor facilidad para hidratarse cuando se almacena en ambiente húmedo.
- b) Una característica que llega a presentar el cemento es el fraguado falso, el cual se presenta a los pocos minutos de entrar en contacto con el agua, y el cual se rompe remezclando la pasta sin adición de agua y la pasta recobra su consistencia normal, su influencia en el concreto es solo un incidente molesto durante la aplicación, ya que no influye en sus propiedades.
- c) Otra característica del cemento que influye en el concreto fresco, es el tiempo de fraguado del cemento, dado que, conociendo dicha característica podemos ver cual es el comportamiento que tendrá el concreto para alcanzar tanto su fraguado inicial como el fraguado final.

## II. AGREGADOS.

- a) Tamaño máximo del agregado. Deberá estar de acuerdo a lo establecido por la esbeltez, armado y método de compactación -- que se aplicará a la estructura colada, además de que a medida que aumenta el tamaño máximo del agregado disminuye la cantidad de pasta requerida por volumen unitario de concreto -- fresco.
- b) Densidad. Esta característica es muy importante dado que en algunos casos, para diseñar mezclas es base, y en caso de que se manifestara una variación en el agregado y no se tomara en cuenta la producción de concreto por m<sup>3</sup>, aumentaría o disminuiría en volumen si la densidad bajara o subiera por lo cual es necesario tener controlados los agregados en cuanto a esta característica.

- c) Absorción. Esta característica influye en el concreto fresco de tal manera que afecta su trabajabilidad y esto va de acuerdo al estado de humedad en el que se encuentren los agregados al momento de elaborar el concreto. Esta característica es importante dado que sino se conoce el grado de absorción de los agregados podría alterarse la relación agua/cemento en la producción de concreto.
- d) Composición granulométrica. Esta característica resulta de la distribución de tamaños de las partículas que lo constituyen, es uno de los rasgos más peculiares en los agregados cuya influencia se hace sentir notablemente en el comportamiento de las mezclas de concreto fresco, muy ligada a esta característica tendremos el módulo de finura del agregado fino (arena) por medio del cual se va a poder definir si es gruesa o fina.
- f) Forma de las partículas. Es una característica muy especial - ya que de acuerdo a su forma el diseño de la mezcla será variado, así los agregados de formas angulosas y superficies ásperas usualmente requieren una mayor cantidad de pasta de cemento en su combinación óptima que los de formas redondeadas y superficies lisas, existen ocasiones en que las partículas trituradas muy alargadas y las excesivamente esféricas son igualmente indeseables: las primeras por sus efectos adversos sobre la manejabilidad del concreto y las segundas porque por falta de adherencia limitan la posibilidad de obtener resistencias muy altas.

## MOLDEABLE

Para que un concreto sea moldeable se requiere la combinación de las siguientes condiciones.

1. Suficiente pasta de cemento y agua para llenar las cavidades del agregado y mantenerlos en suspensión.
2. Una buena granulometría de los agregados fino y grueso.
3. Un adecuado porcentaje del agregado fino con respecto al total de los agregados.
4. Que las partículas del agregado tengan la forma y característica de superficie apropiadas.

El concreto debe ser homogéneo dentro del rango medio del revenimiento, fácil de emparejar con la llana.

Aunque se empleen agregados de buena calidad con suficiente pasta de cemento y agua, si la relación agua/cemento es desproporcionada, el concreto pierde trabajabilidad y esto provoca un sangrado, el productor de concreto debe diseñar su concreto para que cumpla con los requisitos de resistencia, para que sea durable y trabajable y de ser posible para que no se segregue bajo condiciones de alto revenimiento.

El tamaño de las partículas del agregado grueso estarán de acuerdo a la esbeltez y armado de la estructura a colar y el método de compactación por emplear.

- \* En la práctica la relación agua/cemento es el factor único -- más grande que afecta la resistencia del concreto totalmente compactado.

Segregación. Se puede definir como la separación de los diferentes elementos que constituyen una mezcla heterogénea en el concreto, lo que causa la segregación es ante todo la diferencia en el tamaño de las partículas y la densidad de los componentes que lo forman, existen dos tipos de segregación: en el primero de ellos las partículas más gruesas tienden a desplazarse hacia fuera, puesto que las partículas más finas tienden a deslizarse por las pendientes o a asentarse, esto es que cuando se usa una mezcla pobre se puede presentar la primera clase de segregación si la mezcla está demasiado seca, el aumento de agua mejoraría la cohesión de la mezcla, pero, cuando ésta se hace demasiado húmeda, se puede presentar la segunda clase de segregación. El grado de segregación -

que se presente dependerá del método de manejo y colado del concreto por ejemplo: si el concreto se deja caer de una altura considerable, si tiene que pasar por un tobogán con cambios de dirección. Así pues, es necesario poner énfasis en que el concreto se debe colocar siempre directamente en la posición en la que ha de permanecer y nunca se debe permitir que fluya o se trabaje a lo largo de la cimbra. Esta prohibición incluye el uso de un vibrador para esporar un montón de concreto sobre un área grande.

Sangrado. Se conoce también como ganancia de agua, es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colado. Esto se debe a que los componentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua de mezclado cuando se asientan en el fondo, el sangrado depende mucho de las propiedades del cemento, las mezclas ricas -- son menos propensas al sangrado este no siempre es dañino; si no se interrumpe (y el agua se evapora) la relación efectiva agua/cemento puede disminuir, dando como resultado un aumento en la resistencia.

## B I B L I O G R A F I A

---

Curso de Control de Calidad del Concreto.  
IMCYC 1985.

Manual del Concreto. Parte I.  
Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Tecnología del Concreto.  
A.M. Neville. Tomo 2.  
IMCYC.

## CONCRETO FRESCO

- 1.- DEBE SER FÁCILMENTE MEZCLADO Y TRANSPORTADO
- 2.- DEBE SER UNIFORME.
- 3.- DEBE TENER LA FLUIDEZ ADECUADA PARA QUE SEA CAPAZ DE LLENAR COMPLETAMENTE LAS CIMBRAS - PARA LAS QUE FUÉ DISEÑADO.
- 4.- DEBE TENER LA HABILIDAD DE COMPACTARSE COMPLETAMENTE SIN QUE SEA NECESARIO APLICAR -- UNA CANTIDAD EXCESIVA DE ENERGÍA.
- 5.- NO DEBE SEGREGARSE DURANTE EL COLOCADO Y LA COMPACTACIÓN.
- 6.- DEBE PODERSE TERMINAR ADECUADAMENTE.

## TRABAJABILIDAD

ES DEFINIDA COMO LA CANTIDAD DE TRABAJO MECÁNICO  
O ENERGÍA, REQUERIDO PARA PRODUCIR UNA COMPACTA-  
CIÓN COMPLETA DEL CONCRETO SIN CAUSAR SEGREGACIÓN.

CONSISTENCIA

FLUIDEZ

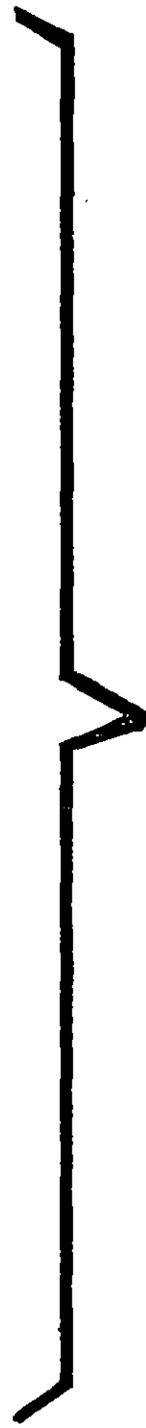
MOVILIDAD

BOMBEABILIDAD

COMPACTABILIDAD

FACILIDAD PARA TERMINAR

ASPEREZA



TRABAJABILIDAD

## FACTORES QUE AFECTAN LA TRABAJABILIDAD:

- CONTENIDO DE AGUA DE LA MEZCLA
- CANTIDAD DE AGREGADOS Y RELACIÓN GRAVA/ARENA
- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS
- TIEMPO Y TEMPERATURA
- USO DE ADITIVOS

## PRUEBAS PARA MEDIR LA TRABAJABILIDAD

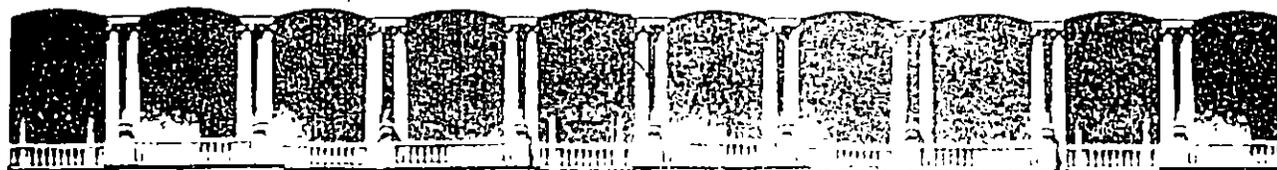
- PRUEBA DE REVENIMIENTO

- PRUEBAS DE COMPACTACION

- PRUEBAS DE FLUIDEZ

- PRUEBAS DE MOLDEO

- PRUEBAS DE PENETRACION



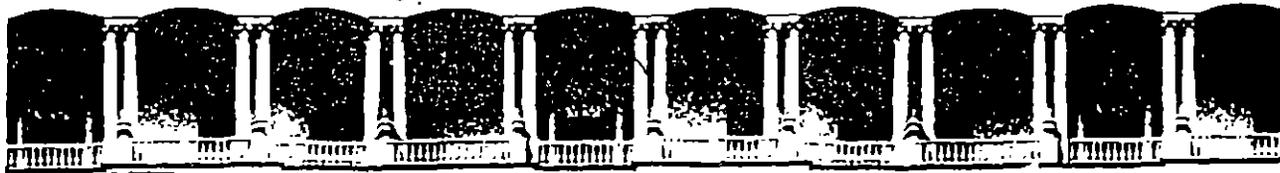
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

## **CONTROL Y VERIFICACION DEL CONCRETO HIDRAULICO**

PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS

AUTOR: ING. MARIO TENA BERNAL  
EXPOSITOR: ING. PEDRO MORA PEREZ

1996



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS

AUTOR Y EXPOSITOR : ING. MARIO TENA BERNAL

**CURSO: CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DE CONCRETO HIDRAULICO.**

**TEMA: PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS.**

**SUBTEMA: CEMENTO**

**OBJETIVO: CONOCER LAS CARACTERISTICAS DE LOS CEMENTOS PORTLAND: SELECCIONAR EL TIPO MAS ADECUADO EN FUNCION DEL TIPO DE OBRA Y DE SU GRADO DE EXPOSICION.**

**AUTO Y EXPOSITOR: ING. MARIO TENA BERNAL**

TEMA: CEMENTO.- GENERALIDADES DESARROLLO DEL TEMA.

En el sentido más amplio la palabra cemento es aplicable a cualquier adhesivo. En el área de la construcción en la Ingeniería Civil, este término se le aplica a un producto en polvo que mezclado con agua forma la matriz cementante que aglutina a los agregados pétreos (arena y grava) para formar un material que en el estado plástico se le puede dar la forma que se desee y cuando este endurece se convierte en una piedra artificial cuya resistencia se puede gobernar en su diseño. A este material se le conoce como concreto hidráulico, ya que debido a las propiedades de su aglutinante puede fraguar y endurecer tanto en el agua como en el aire.

El cemento Portland debe su nombre al hecho de que su inventor el maestro de obras inglés Joseph Aspdin en 1824, descubrió que el polvo producido al moler una mezcla calcinada de calizas y arcillas al mezclarse con agua y endurecer su color y apariencia era semejante a las piedras de ciertas canteras de la Isla de Portland, Inglaterra. En la actualidad se define al Cemento Portland como el producto de la molienda fina del clínker con una adición de yeso. El clínker es la piedra artificial producto de la sinterización o fusión térmica de la mezcla de materiales ácidos (ricos en óxido de silicio como las arcillas, pizarras, etc.) y materiales básicos (ricos en carbonato de calcio como calizas, margas, etc.) mezclados en proporciones adecuadas.

Durante su proceso de fabricación en un horno de producción continua, en la primera etapa se realiza el desdoblamiento de los materiales separándose sus componentes y en la segunda etapa se realiza la asociación por afinidad química y térmica de dichos componentes. En esta última etapa se forman los llamados compuestos potenciales del cemento, los cuales son:

COMPUESTO	FORMULA	SIMPLIFICADA
Silicato dicalcico	$2CaOSiO_2$	$C_2S$
Silicato tricalcico	$3CaOSiO_2$	$C_3S$
Aluminatotricalcico	$3CaOAl_2O_3$	$C_3A$
Ferro-aluminato tetracalcico	$4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$	$C_4AF$

Estos compuestos representan el 90% del peso del cemento y son los que le dan sus características. El 10% restante está constituido por el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que se adiciona al clínker durante la molienda final, la cal libre ( $\text{CaO}$ ), el magnesio ( $\text{MgO}$ ) los alcalis totales ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) y el residuo insoluble. El silicato dicálcico ( $\text{C}_2\text{S}$ ) se hidrata y endurece lentamente liberando poco calor. A sus edades su contribución al desarrollo de resistencia es nula pero a edades mayores de una semana es el responsable del desarrollo e incrementos de resistencia. El silicato tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ) se hidrata y endurece rápidamente liberando mucho calor. Es el responsable en gran medida del fraguado, el endurecimiento y el desarrollo de resistencia a edades tempranas pero a grandes edades su aportación es nula. El aluminato tricálcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ) es el compuesto que se hidrata más rápidamente liberando la mayor cantidad de calor durante el fraguado y el endurecimiento. Su contribución al desarrollo de resistencia a cortas edades es poco significativo. No es deseable que este compuesto se encuentre en grandes cantidades en los cementos ya que este reacciona con los sulfatos y forma una sal polvorienta expansiva cuyo nombre es Etrigita ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ ) la cual a medida que se hidrata provoca agrietamiento y desintegración del concreto. El Ferro-Aluminato tetracálcico ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) reduce la temperatura de formación del clínker, ayudando por lo tanto al proceso de manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidez pero su actividad y su contribución a las características del cemento son prácticamente nulas.

El Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que se adiciona al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del  $\text{C}_3\text{A}$ . Sin yeso el fraguado del cemento sería instantáneo. La Cal libre ( $\text{CaO}$ ) y el magnesio ( $\text{Mg}$ ) son compuestos que es deseable se encuentren en el cemento en cantidades inferiores al 2%, ya que un exceso de ellos puede producir una expansión destructiva retardada. Los Alcalis totales ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) también se recomienda que el contenido de los mismos en un cemento de preferencia sea menor al 0.6% para minimizar las posibilidades de reacción en medio alcalino de cierto tipo de agregados.

**SIMPLES**

- Tipo I.- Normal
- Tipo II.- Modificado
- Tipo III.- Resistencia Rápida
- Tipo IV.- Bajo Calor de Hidratación
- Tipo V.- Resistente a Sulfatos

**CEMENTOS ESPECIALES**

- Tipo IS.- De escorias de alto horno
- Para pozos petroleros
- De color (blanco)
- Expansivos

**MEZCLADOS PORTLAND**

- Tipo IP.- Puzolánico
- De albanilería

Cemento Portland Tipo I.- Normal o de uso común, es adecuado para ser empleado en todo tipo de obras en las que no existe un requisito en particular a satisfacer o cuando no se requieren las propiedades especiales de los demás tipos de cemento.

Cemento Portland Tipo II.- Modificado o de moderado calor de hidratación y resistencia moderada a la acción de los sulfatos, se emplea cuando es necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como ocurre en las estructuras de drenaje y obras de alcantarillado. También puede emplearse en obras en climas cálidos o en estructuras de

volumen considerable como pilas, estribos y muros de contención.

**Cemento Portland Tipo III.-** De alta resistencia rápida. Tiene una composición química similar a la del cemento tipo I, pero su finura es notablemente mayor lo que hace que este se hidrate y frague rápidamente, genere mucho calor y desarrolle resistencia elevadas a cortas edades lo que permite dar un mayor número de usos a las cimbras, reducir los tiempos de ejecución de las obras y poner rápidamente en servicio las estructuras. Es recomendable su empleo en climas fríos para contrarrestar los efectos de la temperatura ambiente y reducir los periodos de curado controlado. No es recomendable para el colado de elementos estructurales robustos (cuya máxima dimensión sea mayor de 90 cm.), ya que la acumulación de calor que genera al hidratarse podría originar agrietamientos.

**Cemento Portland Tipo IV.-** De bajo calor de hidratación como su nombre lo indica, produce un bajo calor de hidratación y aunque la mayoría de los textos no lo menciona también tiene una buena resistencia a la acción de los sulfatos. Se emplea en todos los casos en que se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor, provocada por la hidratación. Generalmente este cemento se emplea para hacer estructuras de concreto masivo, como presas o estructuras robustas, como pilas, estribos, muros de contención, etc., también es recomendable su empleo en climas cálidos.

**Cemento Portland Tipo V.-** De alta resistencia a los sulfatos. Se recomienda su empleo exclusivamente para hacer concretos que van a estar expuestos a ataques severos de sulfatos, ya sea en contacto con suelos y aguas que contengan fuertes cantidades de sulfatos. Aunque en los textos no se menciona también es de bajo calor de hidratación, razón por la cual el desarrollo de resistencia es más lento que en el Cemento Portland tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos de este cemento, se atribuye a su bajo contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ).

**Cementos Mezclados.-** El reciente interés en la conservación de la energía propiciado el uso de materiales secundarios en el concreto de Cemento Portland. Los cementos hidráulicos mezclados se producen con la mezcla íntima y uniforme de dos materiales finos. Uno de ellos es el Cemento Portland y el otro generalmente es una puzolana. **Puzolana.-** Se define como tal a los silicatos o silicatos de aluminio y fierro, que por sí mismo posee poco o ningún valor

cementante, pero que finamente molidos y en presencia de humedad se combinan con el óxido de calcio (CaO) a la temperatura ambiente, para formar compuestos con propiedades cementantes (silicatos cálcicos). Cabe aclarar, que a los materiales que comúnmente se les conoce como puzolanas son los que en su composición tienen un porcentaje considerable de puzolanas que según el caso, puede ser desde el 65% hasta el 95%. Como puzolanas se emplean un gran número de materiales naturales: las tierras diatomáceas, los horstemos opalinos, las arcillas, las tobas volcánicas y el pomez. La mayoría de estas, para ser usadas se deben moler y en algunos casos calcinarse a temperaturas de 650° C a 950° C para activar sus componentes. Dentro de las puzolanas, también debe incluirse a las cenizas de cascara de arroz, las cenizas volátiles y los humos de sílice. La escoria granulada de alto horno finamente molida, es un producto no metálico que contienen silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases, que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en los altos hornos. La escoria fundida a una temperatura de aproximadamente 1500° C, al enfriarse por inmersión en agua forma un material granular, el cual se muele hasta alcanzar una finura Blaine superior a 6000 cm<sup>2</sup>/gr. La mezcla de las escorias de alto horno así como la de las puzolanas con el Cemento Portland, tiene como finalidad la de reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del Cemento Portland, para formar compuestos con propiedades cementantes y evitar que en el concreto exista cal libre que posteriormente pueda carbonatarse.

**Cemento Portland de Escorias de Alto Horno tipo IS.-** Este cemento se puede fabricar moliendo juntos con el clínker la escoria de alto horno o bien ambos componentes se muelen separadamente y luego se mezclan. El contenido de escoria de alto horno en estos cementos es del 25% o más. Se puede emplear en las construcciones de concreto en general o cuando se requiere moderado calor de hidratación o moderada resistencia a la acción de los sulfatos.

**Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.-** Este cemento generalmente se fabrica moliendo junto con el clínker una puzolana o bien mezclando el Cemento Portland con una puzolana, finamente molida. El contenido de puzolana en este tipo de cemento puede ser del 15% al 40% dependiendo de la calidad de la puzolana. Estos cementos son de bajo calor de hidratación, resistentes a la acción de los sulfatos, sus requerimientos de agua son menores que los de los Portland puros y los concretos hechos con este tipo de cementos son muy

plásticos, trabajables, volumetricamente más estables e impermeables que los hechos con cementos Portland puros. Debido a que su desarrollo de resistencia es lenta, su uso es recomendable para las construcciones en donde no se requiera resistencias altas a edades tempranas.

**Cementos Especiales.**- Estos cementos se fabrican con una característica específica para un fin determinado que los diferencia de los otros cementos.

**Cemento Portland Blanco.**- Este es un Cemento Portland que cumple las especificaciones de los cementos Tipo I y Tipo III y únicamente difiere del gris en su color. Este cemento es fabricado con materias primas (caolines) que contienen cantidades insignificantes de óxidos de hierro y manganeso que son los que dan el color gris al cemento y la molienda del clínker se hace en molinos con bolas de cuarzo. Se emplea principalmente para fines arquitectónicos, como fabricación de precolados para fachadas, fabricación de terrazas, junteo de azulejos y para hacer concretos o morteros coloreados.

**Cemento Expansivo Tipo E-I.**- Este es un cemento hidráulico que después del fraguado durante el período inicial de endurecimiento, se expande ligeramente para compensar la contracción por fraguado. Estos cementos se fabrican adicionando a un cemento Portland uno o más compuestos para darle la característica expansiva, tales como, trisulfo aluminato tetraclórico anhídrido, sulfato de calcio, óxido de calcio, cemento de aluminato de calcio y aluminato tricloroaluminato en grandes cantidades. Estos cementos pueden ser usados para:

- (a) compensar la disminución de volumen originada por la contracción por secado,
- (b) inducir esfuerzos de tensión en el refuerzo,
- (c) para dar estabilidad volumétrica a largo plazo a los elementos estructurales y
- (d) para controlar o reducir el agrietamiento de contracción por secado.

**Cemento de Albanilería.**- Estos son cementos hidráulicos diseñados para usarse en sustitución de la cal para fabricar morteros empleados en las construcciones de mamposterías. Debido a que su calidad es inferior a la de los cementos Portland estos cementos no deben ser empleados en la fabricación de concreto hidráulico. Estos cementos

generalmente se fabrican mezclando cualquiera de los cementos Portland simples o compuestos con uno o más de los siguientes materiales: cal hidráulica, cemento natural, cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria y arcillas. La proporción de sus componentes se selecciona en función de su capacidad para impartir a los morteros plasticidad, trabajabilidad y retención de agua.

**Cemento para pozos petroleros.-** Estos cementos normalmente están hechos con clínker de cemento Portland o mezclas de cementos hidráulicos. Por lo general deben ser de fraguado lento y resistentes a temperaturas y presiones elevadas. Su principal aplicación es para fabricar lechados para inyección o sellado de pozos petroleros. Se fabrican en varias clases y la elección de cada una de ellas está en función del rango de profundidad de el pozo, la temperatura, la presión y el contenido de sulfatos del medio.

CUADRO No. 1 COMPONENTES PRINCIPALES  
DEL CEMENTO - SUS FORMULAS  
Y PESOS MOLECULARES

<u>COMPUESTOS</u>	<u>FORMULA</u>	<u>PESO MOLECULAR</u> (gr/mol)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	228.33
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	172.25
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	270.18
Aluminio férrico tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	485.94
Silicato de calcio hidratado	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	134.19
Aluminato tetracálcico hidratado	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	560.52
Aluminio tricálcico hidratado	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	378.30
Sulfoaluminato de calcio hidratado*	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$	1237.22
Sulfoaluminato de calcio hidratado*	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	622.56

\* Etringita.

CUADRO No. 2 EJEMPLO DE COMPOSICION DE LOS 5 TIPOS  
DE CEMENTO PORTLAND  
(%)

Compuestos*	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
$C_3S$	48	44	<u>51</u>	30	46
$C_2S$	22	29	16	<u>46</u>	32
$C_3A$	10	6	<u>12</u>	5	<u>3</u>
$C_4AF$	8	11	7	13	12
Suma	88	90	86	94	93

(\*)

- $C_3S$  = Silicato Tricálcico.  
 $C_2S$  = Silicato Dicálcico.  
 $C_3A$  = Aluminato Tricálcico.  
 $C_4AF$  = Ferroaluminato Tetracálcico.



FACULTAD DE INGENIERIA D.F.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

**CONTROL Y VERIFICACION DEL CONCRETO HIDRAULICO**

**CONSIDERACIONES ESPECIALES DE LA PRACTICA EN LA  
CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO**

**EXPOSITOR: ING. PEDRO MORA PEREZ**

1996

## CONSIDERACIONES ESPECIALES DE LA PRACTICA DE LA CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

Factores que afectan la calidad del concreto:

Factores que deben satisfacerse para la obtención de un concreto de buena calidad uniforme y controlar todos ellos para no afectarla - véase figura. 1.

Satisfechos estos factores y obtenido el concreto sano, esto es - satisfechas las tres premisas del cuadro podemos considerarlo como el alumbramiento de un ser, que si se tomaron y cumplieron todas las reco- mendaciones de los doctores, se obtendrá un producto sano y robusto, - pero que si ese niño no recibe posteriormente a su alumbramiento, los cuidados en la alimentación, en su aseo y mimos en general, crecerá un ser raquitico, no sano y deberá tener atenciones posteriores fuera de lo normal porque indudablemente tendrán que efectuarse gastos que hubieran sido innecesarios si se hubieran atendido a las necesidades que requiría en su tierna edad, es por eso que se expondrán los requiri- - mientos para que el concreto elaborado y recibido en condiciones óptimas de buena calidad, conserve esa calidad hasta siempre, ya que como se expuso en el cuadro anterior, el concreto debe diseñarse no únicamente para satisfacer el requisito de Resistencia Estructural si no - que debe ser Económico y Durable.

Condiciones en que debe encontrarse el sitio de la Construcción

Limpieza General. - El sitio de la obra deberá estar limpio, esto es, sin contener materiales extraños que pueden alterar la composición del concreto y con ello variar la resistencia y alterar disminuyendo - su durabilidad. Los materiales extraños que deben eliminarse son va- - rios y dependen del tipo de estructura que se vaya a construir, por -- ejemplo, si se trata de una losa de cimentación, deben eliminarse, maderas de desperdicio, tierra suelta, grasas y aceites, terrones de - -

# CONCRETO FRESCO

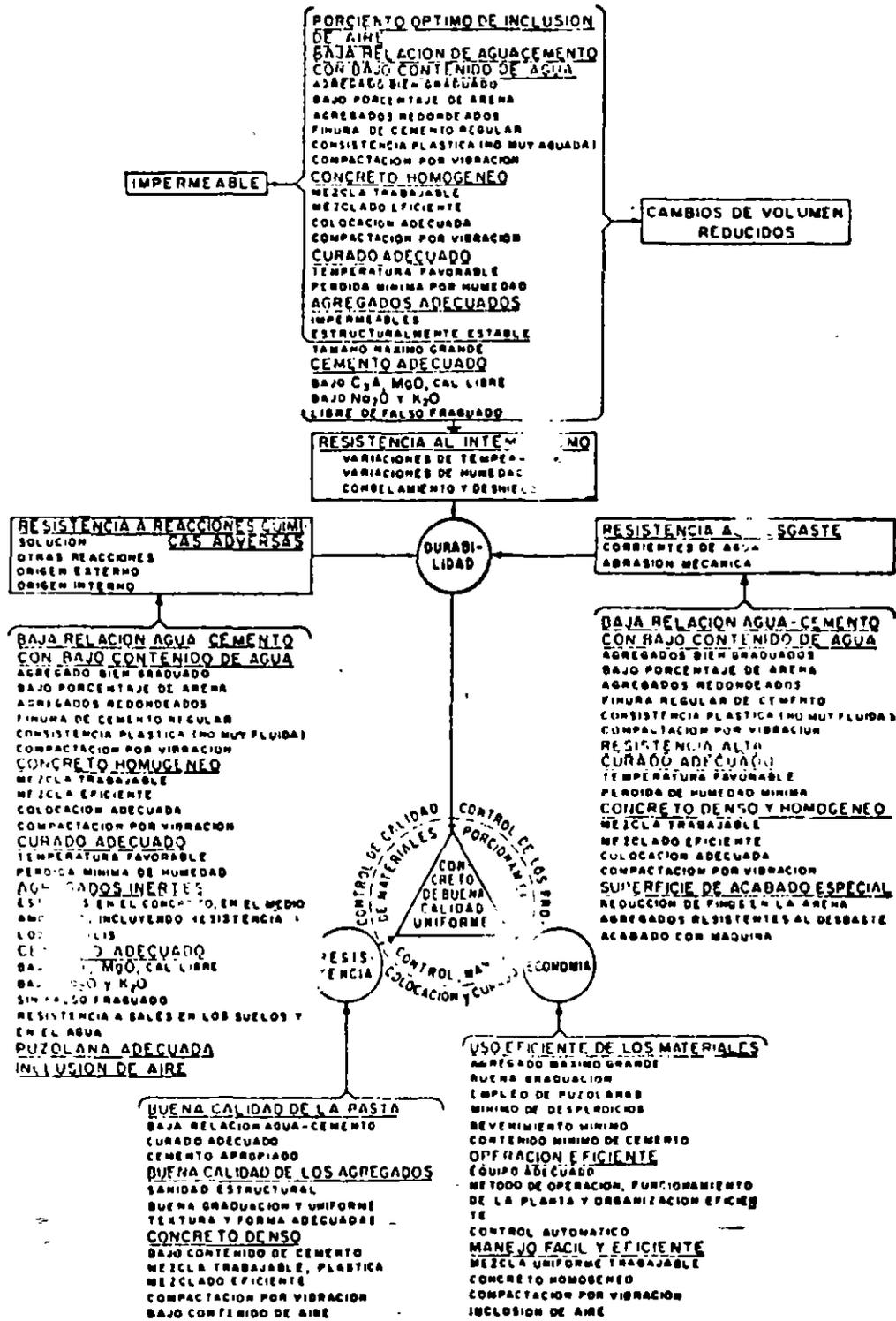


Figura 1. CUADRO FUNCIONAL DE LAS PROPIEDADES DE UN BUEN CONCRETO, SUS RELACIONES Y ELEMENTOS CON LOS QUE SE CONTROLAN.

arcilla, serrín, papel etc. En el caso de trabes columnas, muros y en general elementos cerrados, debe hacerse una revisión exhaustiva eliminando cualquier material extraño y dejar drenes que posteriormente se obturen para que antes, efectuar un lavado y eliminar sobre todo tierra, serrín, y en general cualquier contaminante que altere la calidad del concreto, disminuyendo resistencia, durabilidad y en algunas ocasiones alterar su apariencia, sobre todo cuando se trata de concreto aparente.

Acero de Refuerzo.- Cuando se haya efectuado la limpieza de los elementos estructurales donde se va a depositar el concreto, deberá hacerse una revisión exhaustiva del acero de refuerzo pues cuando no satisfaga las exigencias requeridas para él, puede originar efectos que aunque no se pueda considerar estrictamente que sean causa de la alteración de la calidad del concreto, originan efectos que pueden alterar considerablemente el comportamiento de la estructura, llegando en algunos casos originar la falla de ella y que generalmente esto se lo atribuyen a fallas por la mala calidad del concreto.

Analizamos algunos casos:

- 1.- Principalmente mala colocación del acero que en este caso si pueden alterar la buena calidad del concreto, puntualizando cuando por la alta área de acero, sobre todo en columnas y trabes tienen que poner excesivas varillas de refuerzo lo que por el espacio que acepta el proyecto en la sección a colocarlo, tiene que poner varillas con luz entre ellas muy cerrada de tal manera que funcionan como malla e impide que el que el concreto pase a través de ellas, reteniendo gran parte del agregado grueso y pasando únicamente tamaños más pequeños, que imaginándonos un corte transversal de elementos se observa un concreto muy heterogéneo, dando como consecuencia que la transmisión de esfuerzos no sea continua y por consiguiente se originen concentraciones en algunas zonas resultando fallas de la estructura que generalmente consideran su origen en la calidad del concreto que puede ser cierto, pero esa baja no es sobre el concreto original y lo que probablemente si por la alteración sufrida en este caso, por la colocación

deficiente de él. Existen para eliminar esta probable falla especificaciones que limitan la luz mínima de la varilla de refuerzo y la misma entre las paredes de la cimbra y la varilla más cercana que es la luz entre varilla de refuerzo y pared de cimbra .

Tamaño mínimo del agregado no mayor que 3/4 de la luz entre varillas de refuerzo.

- 2.- El acero de refuerzo no debe tener escamas de oxidación y en caso de existir, se eliminarán frotándolas con cepillo con elementos cepillante de acero y además que no tenga oxidación con incrustaciones, en este último caso, deberá pedirse al proyectista que afine la sección de acero en caso de estimarlo necesario. El primer defecto, o sea el que tenga escamas de oxidación, su efecto en el funcionamiento del elemento estructural es pérdida de adherencia con el concreto y posible falla del mismo, desde luego que este fenómeno no es atribuible directamente a la alteración de la buena calidad del mismo, pero generalmente y más bien al fallar el elemento se lo atribuyen a la mala calidad del concreto y en este caso es complicado y costoso poder comprobar que el origen de ello fue por la falta de adherencia del acero en el concreto.

En general en el segundo caso, cuando se aprecien oxidaciones con incrustaciones, el elemento estructural puede fallar por disminución de área de refuerzo, lo que atribuyena la mala calidad del concreto, por lo que si al efectuarse la revisión se detectara este defecto, es necesario consultar con el proyectista si es indispensable aumentar la sección del acero de refuerzo.

Revisar con los planos estructurales si el número de varillas de refuerzo en cada elemento está correcto si los cortes en ellas y doblando en su caso, es el indicado en los planos y si la fijación del refuerzo no es firme, pues fallas en estos conceptos, puede originar la aparición de fisuras, agretamientos y aun falla

del elemento lo que no debe considerarse como deficiencia en la calidad del concreto empleado.

- 3.- Moldes o Formas.- Las formas deben colocarse correctamente - esto es que puedan soportar sin deformarse la presión que - ejerce el concreto sobre ellas, sobre todo tratándose de co-  
lumnas trabes o concreto en masa pues la falla de ellas pue-  
de orinar alteración en las secciones de los elementos o de  
volumenes grandes, ya que la falla o deformación de ellas -  
puede originar segregación del concreto y si estas formas no  
son estancas se presentan fugas de lechada y mortero que -  
ausencia que evita el acomodo correcto de los agregados dan-  
do lugar a la formación de "Panales de abeja", ocasionando -  
con estas fallas, por la discontinuidad de esfuerzos, concen-  
tración de las mismas y falla del concreto, pero no origina-  
da por ser mala calidad sino que es por alteración de su es-  
tructura ocasionada por lo antes expuesto, o sea por su colo-  
cación.

Las presiones que se ejercen sobre las formas al colocar el  
concreto son originadas por que se supone que el concreto -  
actúa como un semifluido y esta presión puede ser afectada -  
por los siguientes factores:

- a) Velocidad de la colocación del concreto.
- b) Método de la colocación del concreto, ya sea a mano o por vibración.
- c) Consistencia y proporciones de la mezcla.
- d) Temperatura del concreto.
- e) Tamaño y forma de la cimbra y cantidad y separación del ace-  
ro de refuerzo, en la transparencia 2 se grafican los resul-  
tados de una serie de pruebas. Estas presiones actuando so-  
bre las paredes que las forman deben calcularse correctamen-  
te, transparencia 3 y revisarse antes de la colocación del -

concreto para evitar deformaciones de ellas y para que no se alteren las secciones y si se presentan fugas de lechada o mortero, puede originar fallas o fisuras en los elementos - lds que no deben ser atribuibles a la calidad del concreto.

Las paredes que las forman deben impermeabilizarse si son de madera, pues cuando no se haga al colocar el concreto absorbe--rán agua del mismo originando la aparición de fisuras y además dan un mal aspecto en el concreto que se apoyó en ellas. Todo esto lo atribuyen generalmente a la mala calidad del - concreto posiblemente argumentado que fue originado por la heterogeneidad en su composición.

El concreto de origen no es homogéneo, entonces esto origina que al estar endurecido, se forma un material no homogéneo a diferencia de la estructura del acero y algunas rocas de materiales que se obtienen de una fusión de sus componenetes - que si lo son como rocas volcánicas.

Al tenerse un material como el que se aprecia en un corte de un cilindro de concreto, transparencia 4, se observa que - está constituido por una sucesión de partículas de diferen--tes tamaños y formas y muchas veces de materiales de diferente origen, por ejemplo basalto, andesita, granito, calizas, estos con diferentes características de resitencia y algunas veces diferentes formas las que al serle aplicada alguna - fuerza externa, esta se trasmite no uniforme en toda la masa, por lo que puede cambiar de dirección en el seno del mate---rial y originar concentración de dicha fuerza en determina--da zona y ello originar falla del elemento. Ahora al mane--jar el concreto por procedimientos no adecuados sufre alteraciones su transmisión de fuerza la que puede resultar mayor por concentración de ella que el original en la que el proceso de su manejo se han satisfecho todas las normas respectivas.

Esto que es una de las causas de la alteración de un concreto, después de haberse recibido, para la falla de un elemento de concreto, se suman algunas otras causas, originadas por contaminación, colocación, etc. las que se tratarán a continuación.

#### 4.- Recepción del Concreto.

Debien tomarse todas las precauciones necesarias al recibir el concreto, para evitar segregación del mismo o bien su contaminación lo que traería como consecuencia alterar su calidad que se traduce en disminución de resistencia y pérdida de durabilidad, también debe evitarse adicionar cualquier sustancia no prevista, y por ningún motivo debe adicionarse agua si no es autorizada por el fabricante, ya que ello alterará la relación agua cemento, factor principal para adquirir la resistencia y durabilidad proyectada. Al recibirse el concreto tampoco debe agregarse ningún aditivo que no esté autorizado por fabricante y debe recibirse en un recipiente adecuado como artesas o tolvas y evitar en su descarga que se origine segregación del mismo. Se debe determinar el revenimiento y con ello su aceptación por este concepto, una tolerancia para revenimientos normales -- 1.5 cm, de 12 cm  $\pm$  2.5 cm, más de 12 cm  $\pm$  3.5 cm, en caso de que no quede dentro de estas tolerancias no debe adicionarse agua a menos que el fabricante lo acepte e indicará la cantidad.

En la transparencia 4 se aprecia una descarga de concreto de una revolvedora observese que la descarga nunca se hace libremente de la revolvedora al elemento receptor sino que se coloca un elemento intermedio de manera que la descarga al recipiente sea vertical y con deflectores para evitar separación de los materiales que originaría como ya se ha dicho, segregación obteniéndose un concreto heterogéneo dentro de la misma heterogeneidad del mismo por naturaleza del mismo, y que altera su calidad.

#### 5.- Transporte.

Dependiendo del tipo de obra que se ejecute y del equipo disponible, se pueden emplear varios métodos para el transporte o manejo del concreto seleccionado el más eficiente para evitar, evaporación de agua, movimiento de las partículas que lo constituyen, contaminación con materiales extraños de tal manera que al llegar al sitio de su colocación conserve la consistencia adecuada no perdiendo las cualidades que para ello fué diseñada.

Los sistemas a emplear pueden ser con, carretillas con rueda de diámetro grande y con llanta aulada canalones, cangilones, bandas transportadoras, equipo para lanzar concreto (neumático) y transporte por bombeo. Los sistemas o métodos que se indican se proponen para evitar principalmente la alteración de la calidad por segregación, pérdida de humedad, contaminación con materiales extraños, todo esto contribuye a la alteración de la calidad del concreto original y por consiguiente disminución en la resistencia y alterar, la durabilidad, en suma que el concreto original se convierta en otro y al presentarse fallas, que en este caso por deficiencia en su transportación generalmente se las atribuyen a mala calidad del concreto original, esto es el que llega a la obra.

En la transparencia 6 y 7, se aprecia la separación, clasificación, de los agregados por un transporte inadecuado del concreto en la transparencia 8, se exponen métodos correctos e incorrectos de la colocación del concreto en formas angostas.

En la transparencia 9, se observa un dispositivo para transportar - por cablevía y "Buckets" botes de gran capacidad y en la transparencia 10 la descarga de  $6 \text{ m}^3$  de una sola vez, obsérvese que no se aprecia grega-- ción, en la transparencia 11, el mismo concreto después de haber sido -- compactado por vibración. Este sistema de transporte de concreto se -- emplea en obras de grandes volúmenes por colocar, como presas canales -- para irrigación, túneles, etc.,.

#### 6 - Colocación

La colocación y compactación adecuada tal vez sea de las condicio-- nes a satisfacer más importante para conservar la homogeneidad del concre-- to, por lo tanto debe evitarse en estas operaciones y en cualquier otra-- de su manejo, segregación puesto que lo convierte en un material más hetero-- géneo de lo que de origen ya es.

En la transparencia 12, se aprecia la colocación de concreto en un-- sifón circular mediante bandas transportadoras y caída por canalones.

En la transparencia 13 y 14, se observa la colocación de concreto - en una pared con pendiente, taludes de un canal conductor de agua para - riego.

Quando la colocación se haga sobre superficies inclinadas siempre - debe colocarse el concreto de abajo hacia arriba, colocando en la parte-- inferior un retén que impida que el concreto se deslice fuera del limite de vaciado de la zona por colar, además que esto permite efectuar una -- buena compactación (vease transparencia 13 y 14). En este caso no deben diseñarse mezclas muy fluidas y más bien deben ser secas con revenimien-- tos no mayores de 5 cm. si no se cumple con esta exigencia originará in-- dudablemente alteración en su homogeneidad y consecuentemente altera-- ción en la calidad original del mismo, con sus fallas de resistencia y - durabilidad consiguientes, que sin lugar a duda van a ser atribuidas a - la mala calidad del concreto original.

En la transparencia 9, 10 y 11, se puede apreciar que aunque la can-- tidad de concreto depositado es alta, más o menos  $6 \text{ m}^3$  de una sola vez -

---- no se observa segregación del mismo y la transparencia 10, se puede apreciar la facilidad de compactarse sin apreciarse que se haya manifestado alguna segregación, cabe hacer la aclaración que a pesar de tratarse de un volumen grande con revenimiento bajo de + 4 a 5 cm.

En la transparencia 8 que muestra el procedimiento para colocación de concreto en forma o cimbras de luces cortas y altura regular. En esta fotografía se exponen la forma correcta e incorrecta de colocación, además se indica la colocación del concreto en superficies planas y cuando la colocación se efectuó empleando bomba se debe hacer como se indica en la transparencia 15.

Existen bombas de varias capacidades, pues en los años de 1960 las bombas existentes, tenían una capacidad de bombeo de aproximadamente 75 m. verticalmente y horizontalmente de 300 m., con una presión máxima de 700 lbs/pulg.<sup>2</sup>, con una producción máxima de 35 m<sup>3</sup>/h., actualmente ha evolucionado este procedimiento y se pueden alcanzar los siguientes valores, transporte vertical 425 m, presión máxima 3,300 lbs/pulg<sup>2</sup> y producción máxima de 130 m<sup>3</sup>/h; estos rendimientos se han alcanzado con bombas: PUTZMEISTER TTS 14000, que emplea un motor diesel de 400 hp.

En la transparencia 16 se aprecia la colocación de concreto en un "Coferdam" para desplantar pilas de puente; en el que se necesitaron 14,500 m<sup>3</sup> de concreto y se emplearon 3 bombas terminándose el colado en 47 horas continuas con un promedio de 103 m<sup>3</sup> por hora y por unidad.

En la transparencia 17, camiones revolvedores acoplados a la bomba para una alimentación continua.

Concreto ligero bombeado a una altura de 316 m., transparencia 18, en un edificio en las afueras de los Angeles Cal en el que a su terminación se hizo con concreto ligero transportado 16 m. de altura de una sola vez.

## 7.- COMPACTACION.

Colocado el concreto evitando que se presente alguna alteración en su calidad, se procede a su compactación, fase muy importante para un buen comportamiento posterior en la estructura, esto es que se tenga confianza en que satisfará la resistencia para que fué proyectada, que será económico y durable.

Para compactar el concreto se pueden seguir varios métodos y su finalidad es la de obtener un concreto compactado con el mínimo de vacíos sin segregación, lo que se puede hacer por :

- 1.- Varillado
- 2.- Vibrado.

El varillado se recomienda para concretos de revenimientos altos y que sean plásticos, los revenimientos con los cuales se puede aplicar este procedimiento son como mínimo 5 ó 6 cm. y para el concreto vibrado de 2 a 5 cm., concretos con revenimientos más bajos se recomienda la vibración y en casos especiales complementada con aplicación de carga sobre la superficie, como se práctica en concretos compactados con planchas para pavimentación y vibrado a la vez. (vibro-compactador).

La compactación del concreto por cualquiera de estos métodos, evita la formación de 'panales de abeja', que son zonas que afectan la resistencia mecánica y la durabilidad.

El aplicar compactación por varillado o vibrado el objeto es fluidificar la masa de concreto por las vibraciones que se le transmiten y se consigue con ello un acomodamiento fácil y correcto de las partículas que hace que las fuerzas aplicadas sobre el elemento se transmitan siguiendo aproximadamente la misma trayectoria que tiene la fuerza aplicada, de no suceder así, se presentará una falla prematura que generalmente es atribuida al concreto cuya calidad original ha sido alterada por un proceso de compactación defectuoso. Este proceso defectuoso se origina por lo siguiente, para vibración interna:

- 1.- Introducir la barra del vibrador inclinada y deslizarla hacia el operador lo que ocasiona segregación, transparencia. (31).
- 2.- Demasiado tiempo de vibrado en un sólo lugar, origina segregación.

7.- Pegar el elemento vibratorio a las varillas de refuerzo, esto origina movimiento en las mismas y por consiguiente falla de adherencia.

Además de la vibración interna, se puede aplicar vibración externa en moldes rígidos metálicos, este procedimiento se aplica para elementos prefabricados, trabes, columnas, tubos, etc., transparencia (32), este método puede fallar por mala distribución de los vibradores en la forma, molde y presentar zonas sin compactar correctamente por falta de vibración, "panales de abeja."

Los vibradores pueden ser accionados por corriente eléctrica o por aire a presión, que tengan una frecuencia oscilatoria de 3,000 a 7,000 r.p.m.

Los vibradores de inmersión deben insertarse verticalmente, como se indica en la transparencia (32) y aproximadamente a una distancia de 45-cm. y extraerlo lentamente.

La suspensión del vibrado se hace cuando la superficie del concreto, aparezca tersa y apenas desapareciendo el agregado grueso; la duración del vibrado más o menos debe ser de 5 a 15 segundos para cada penetración.

En algunos casos, cuando el residente de la obra lo ordene, se podrá efectuar pero a un tiempo que no exceda de 2 horas desde el momento en que se inició de colocar el agua al iniciar el mezclado.

Cuando se tenga expuesto el concreto durante más de 2 horas, todavía puede mezclarse el concreto a fin de evitar juntas frías, las que pueden presentar una zona de discontinuidad de esfuerzo y por consiguiente, concentración de los mismos en esa zona, originando fallas prematuras.

El concreto se puede colocar bajo agua y ser lanzado acomodándose por impacto, en ambos casos es problema controlar su calidad por su misma naturaleza.

#### 8.- TERMINADO.

La mayoría de las imperfecciones que pueden presentarse en un concreto nuevo, indudablemente que son atribuidas a una mala colocación que incluye hasta su vibración y no a una mala calidad del concreto como en la-

mayoría de los casos consideran.

El colado de concreto en superficies abiertas y de grande extensión, como para pavimentos, para carreteras, pistas para aereopuertos y obras -- similares, puede presentarse una fuerte evaporación que origina un reseccamiento de la mezcla que origina dificultad en su acomodo y posteriormente aparición de figuras en su superficie por contracción por secado; lo que es originado por vientos de alta velocidad, temperaturas altas en el aire y concreto, y humedad relativa, en la transparencia ( 29) se expone un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0-kg/m<sup>2</sup>/h., deben tomarse las precauciones necesarias para evitar la aparición de grietas plasticas.

En este caso se recomienda colocar mamparas deflectoras, techos de lona, etc.,.

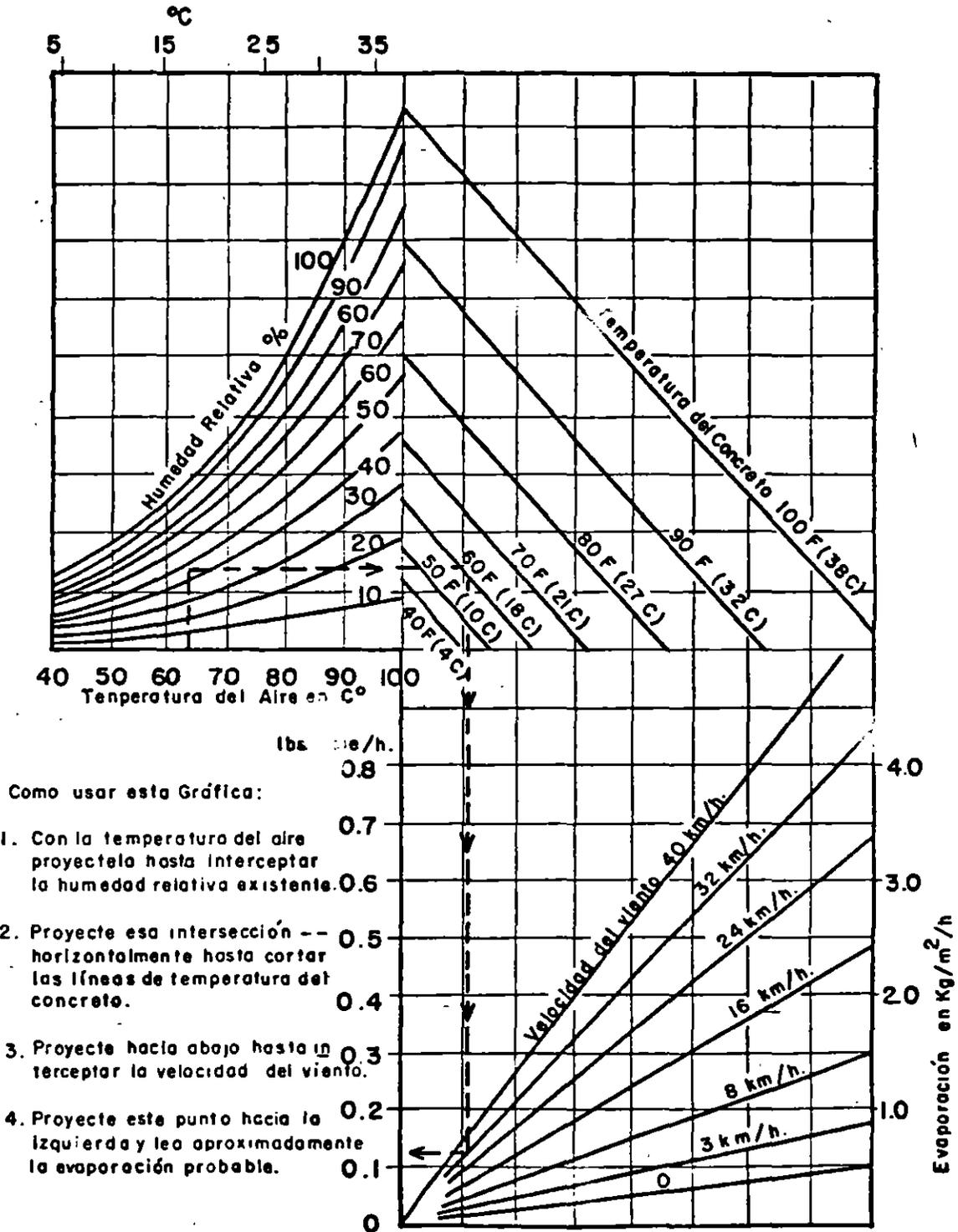


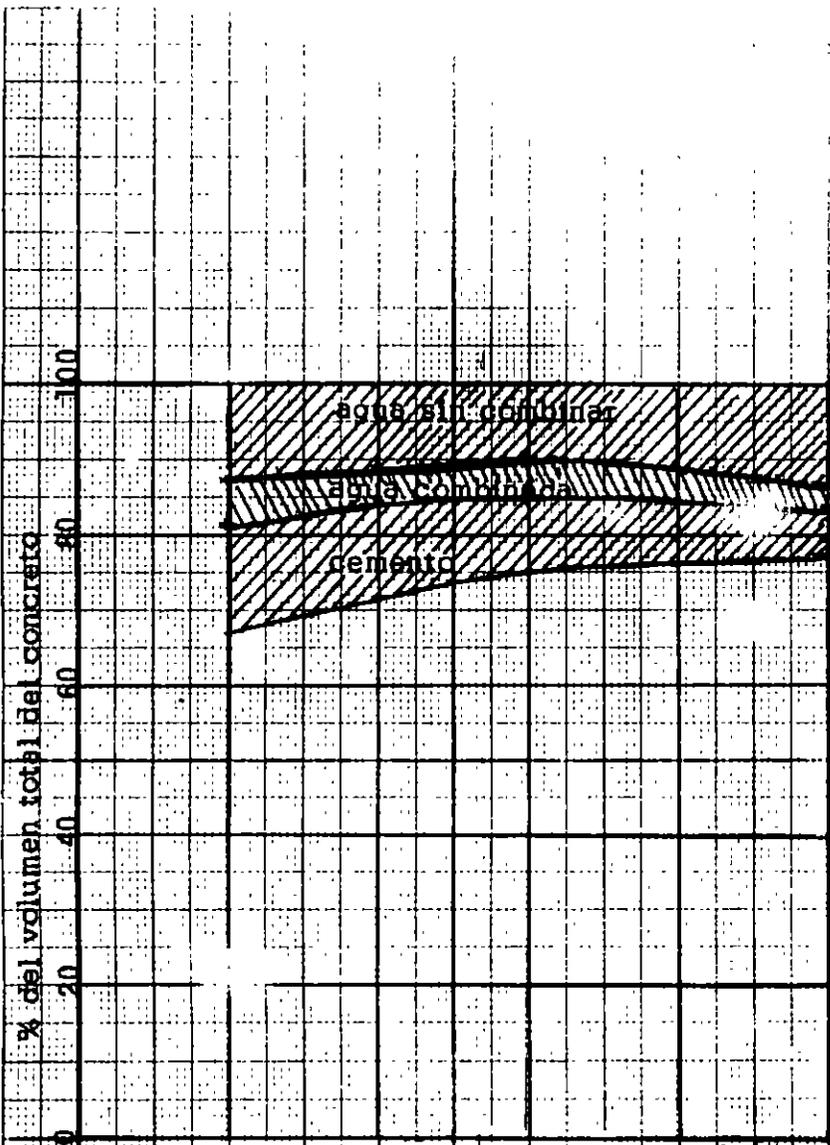
FIGURA 1.- Efecto de las temperaturas del aire y el concreto, humedad relativa y velocidad del viento en la evaporación de la humedad superficial del concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, que son las que se mencionan. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar las grietas de construcción plásticas.

El curado del concreto, tal vez sea la etapa o fase más importante para obtener finalmente un concreto de buena calidad uniforme y satisfacer las características exigidas de resistencia, durabilidad y economía, se dice tal vez para no justificar la omisión de alguna de condiciones expuestas y desarrolladas, pues todas son importantes y necesarias.

Cabe hacer la aclaración que en la generalidad de las obras que se ejecutan esta etapa se desatiende y se olvidan de efectuar el curado del concreto colocado; el no ejecutar el curado a su tiempo trae consecuencias irreversibles que alteran la calidad del concreto y que generalmente se le atribuye a que fué originada por la mala calidad del concreto, cosa falsa como se explicará más adelante. Transparencia 18.

El material de unión en el concreto, pasta de cemento-agua, es el componente activo en el concreto y tiene dos funciones principales.

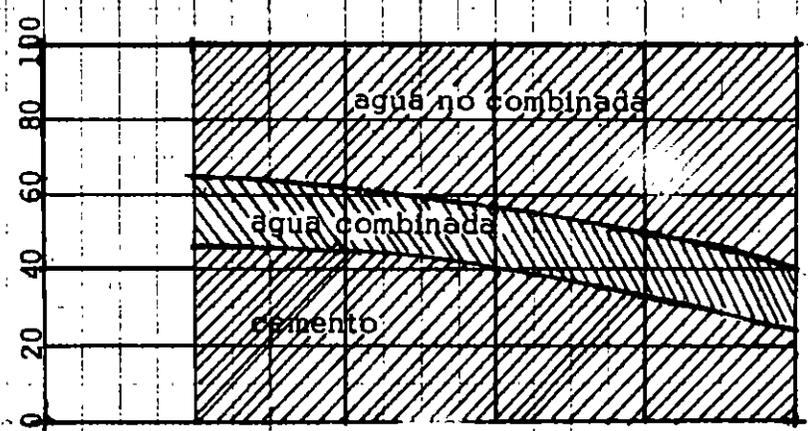
- 1.- Llenar los huecos entre las partículas de materiales pétreos que forman el concreto comunicándoles lubricación y acomodo facial entre ellas.
- 2.- En su estado endurecido darle resistencia y durabilidad
  - a.- La resistencia está fijada aproximadamente por las características del cemento.
  - b.- Relación agua - cemento
  - c.- Reacciones químicas del cemento con el agua, esto es que se desarrollen totalmente o parcialmente por suspensión de ellas; a este proceso se le llama hidratación
  - d.- La durabilidad del concreto depende de la porosidad del mismo, entre



Prop.	1:1:2	1:1 1/2:3	1:2:4	1:2 1/2:5	1:3:6
A	0.38	0.44	0.53	0.71	0.89
C					

Mezclas de concreto

% del volumen total de la pasta



Prop.	1:1:2	1:1 1/2:3	1:2:4	1:2 1/2:5	1:3:6
A					
C					

Mezclas de mortero

y resistencia.  
mayor poros tenga menos será la durabilidad La porosidad depende de la cantidad de agua no combinada que tenga, y forma parte del agua - que se ponga para hacer la mezcla, siendo la otra parte el agua no combinada, transparencia 19

En promedio el agua combinada representa el 30 % y la no combinada el 70 %, entonces esta última al no combinarse, su acción es la de comunicar manejabilidad y una vez conseguida queda ocupando espacios en el concreto y cuando se evapora estos están vacíos originando poros y canales por lo que si la cantidad de agua - total necesaria para obtener una resistencia y manejabilidad determinada se aumenta, se alterará la resistencia del concreto y otras características ya contempladas, como la cantidad de agua combinada en función de la total no se altera, entonces los cambios en la calidad se deben a un exceso de poros y canales capilares, originados por el agua en exceso existente por no combinarse con el cemento. Los resultados de esta agua no combinada se manifiestan como.-

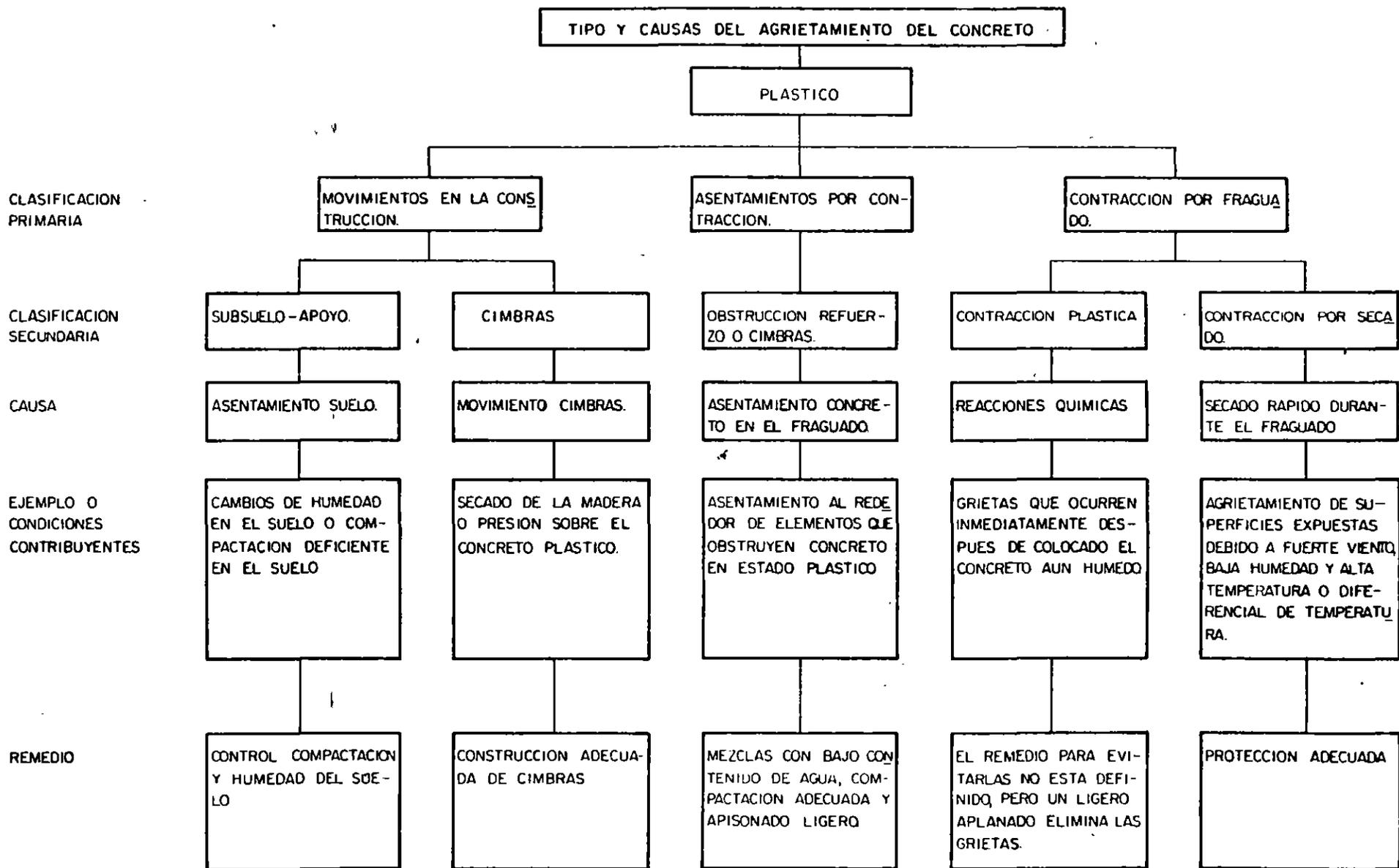
- 1.- Disminución de resistencia
- 2.- Mayor porosidad, que origina menos durabilidad por el fácil acceso de los agentes destructivos existentes en el medio ambiente que lo rodea.

Como se dijo anteriormente el elemento de unión y digamos cementación, está representado por la pasta agua - cemento que al combinar producen reacciones químicas - dando lugar a la hidratación del cemento, momento en el cual se desarrollan geles que son ávidos de agua para su formación y después se traduce en la cementación de las partículas pétreas que posteriormente, cuando el concreto va perdiendo agua por estas reacciones endurece comunicándole la resistencia requerida. Esto que se expone es --

la descripción mucho muy sencilla y super extractada del fenómeno real que se desarrolla al hidratarse el cemento. por lo anteriormente expuesto es necesario que la mezcla de materiales se conserve siempre húmeda, esto es que no se permita la pérdida de humedad en la mezcla, entonces debe conservarse la humedad externa lo que manifiesta que no pierde agua de combinación en su interior, además de evitar la pérdida de agua en este proceso de curado, es indispensable mantener una temperatura normal, si es diferente a 25°C debe mantenerse más o menos a la temperatura por procedimientos especiales que no se van a considerar en este desarrollo.

Cuando el curado no se aplica correctamente y en el momento oportuno, puede originarse la formación de fisuras o grietas por un desecamiento temprano de la superficie ocasionando cambios de volumen en la masa que se traducen en el desarrollo de esfuerzos de tensión que el concreto, debido a su tierna edad, no es capaz de soportar originando entonces las fisuras o grietas, que pueden profundizar si no se evitan mediante la reposición de humedad, transparencias 20 a 28

Encolados de grandes superficies expuestas, se presentan con frecuencia estos fenómenos que generalmente atribuyen a la mala calidad del concreto, siendo en realidad culpa del constructor que no toma las providencias necesarias para evitarlo. Estos fenómenos se originan por efectos de las temperaturas del aire y concreto, humedad relativa del ambiente y velocidad del viento, transparencia 29, ocasionando evaporación superficial en el concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, si el valor de la evaporación obtenida por este método es superior a 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h deben tomarse las precauciones para evitarlo y que aparezcan grietas por contracción plástica.



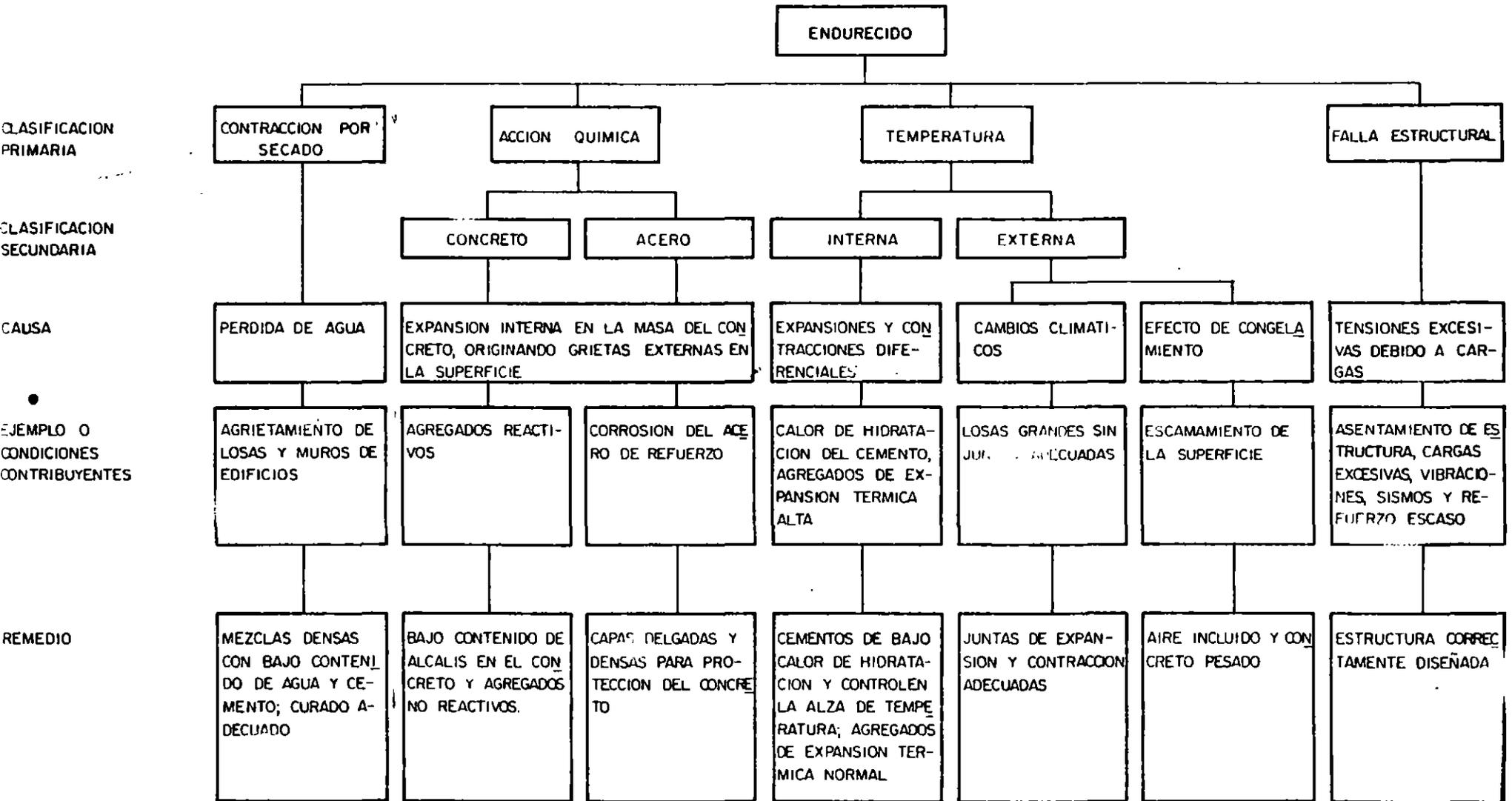


TABLA 1.- Ejemplo de prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes para la carga de concreto premezclado.

<b>PRACTICAS:</b>
Centrado eficiente de la unidad para cada carga mediante ayudas visuales y señalización para maniobras de los operadores.
Regulación de la velocidad de carga de cada uno de los materiales a fin de lograr su óptima velocidad de introducción a la olla.
Revisión periódica de las mangas y faldones de la boca de carga para verificar su buen estado y evitar obstrucciones al paso del material.
<b>ALTERNATIVAS</b>
Manejar húmedos los agregados.
Instalar un equipo automatizado de bacheo.
<b>DISPOSITIVOS</b>
Neblinas húmedas para el depósito de las partículas.
Neblinas secas electrocargadas para el depósito de las partículas.
Campanas retractiles con colectores de polvos.
Confinamiento del área para evitar el escape de los polvos.

**TABLA 2.- Evaluación de las prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes para la carga de concreto premesclado.**

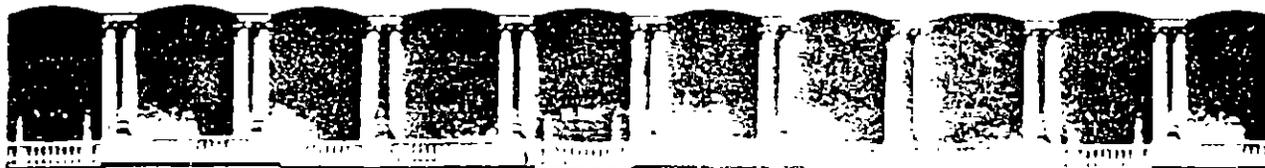
CONCEPTO	COS- TO INI- CIAL (mil es N\$)	TIEM- PO DE AMOR- TIZA- CIÓN	COS- TO MAN- TENI- MIEN- TO	INCRE- MENTO COSTO OPERA- CIÓN (%)	NIVEL MANEJO DE DESE- CHOS <sup>1</sup>	NIVEL DE MANTE- NIMIE- NTO	REDUCE CONTRO LA ELIMI- NA EMI- SIÓN DE POLVOS	INCONVE- NIENTES	VENTA- JAS ADICIO- NALES
Contrato Jila	NA	NA	NA	NA	B	NA	REDUCE	NINGUNO	MEJOR CONTROL
Pequeña carga de Jila	NA	NA	NA	NA	B	NA	REDUCE	NINGUNO	MEJOR MEZCLADO
Rev. baldones, mangas, etc.	NA	NA	NA	NA	B	SEMANAL	REDUCE	NINGUNO	MEJOR IMAGEN
Mantenimiento de albañiles	NA	NA	NA	NA	A	SEMANAL	ELIMINA	MÁS MANT. SAIDAS	NO DESPERDICIOS
Equipos de control de ruido	NA	NA	NA	NA	B	SEMANAL	REDUCE	NA	MÁS CAL. ACWCH
Alfombra asfáltica	NA	NA	NA	NA	D	DIARIA	REDUCE	LIMPIEZA LODOS	NO TIENE
Redina electrostática	NA	NA	NA	NA	D	SEMANAL	REDUCE	LIMPIEZA POLVO	NO TIENE
Aspiradora de polvo	NA	NA	NA	NA	B	SEMANAL	REDUCE	MÁS RUIDO	PUEDE RECUPERAR CEMENTO
Aspiradora	NA	NA	NA	NA	B	SEMANAL	REDUCE	DISPOSIC. POLVOS	MEJOR IMAGEN
Aspiradora de polvo	NA	NA	NA	NA	D	DIARIA	CONTROLA	DISPOSIC. POLVOS	MEJOR IMAGEN

*Handwritten note:* 14/10/82

**TABLA 3.- Evaluación de dispositivos menores y barreras vegetales para evitar control de vientos y retención de polvos en plantas de concreto premezclado.**

CONCEPTO	COS- TO INI- CIAL (mil es N\$)	TIEM- PO DE AMOR- TIZA- CIÓN	COS- TO MAN- TENI- MIEN- TO	INCRE- MENTO COSTO OPERA- CIÓN (%)	NIVEL MANEJO DE DESE- CHOS <sup>1</sup>	NIVEL DE MANTE- NIMIEN- TO	REDUCE CONTRO LA ELIMI- NA EMI- SIÓN DE POLVOS	INCONVE- NIENTES	VENTA- JAS ADICIO- NALES
Ferros	15-20	1-10	BAJO	BAJO	B	ANUAL	REDUCE	NINGUNO	MEJOR IMAGEN
hojuelas / tiras de polvos	2	1 AÑO	HA	HA	B	HA	CONTROLA	DISPOSICION DE LUDOS/POLVOS	MEJOR FRECUENCIA DE LIMPIEZA
Arbustos vegetales	15-20	NA	BAJO	HA	A	SINISTRAL	CONTROLA	NINGUNO	MEJOR AMBIENTE
Arboles bajos	1.5-2	NA	BAJO	HA	A	SINISTRAL	CONTROLA	NINGUNO	MEJOR AMBIENTE

1/2/2008



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL A.C. I.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

## **CONTROL Y VERIFICACION DEL CONCRETO HIDRAULICO**

**PRACTICAS ECOLOGICAS EN LA PRODUCCION DE CONCRETO**

**EXPOSITOR: MC. JOSE ANTONIO TENA COLUNGA**

1996

**PRÁCTICAS ECOLÓGICAS**

**EN LA**

**PRODUCCIÓN DE CONCRETO**

**NORMATIVIDAD**

**ECOLOGICA**

## NORMATIVIDAD ECOLÓGICA

La situación actual del entorno ecológico que a todos nos protege, está viéndose modificada día tras día, por el impacto industrial y la fabricación del Concreto no es la excepción ya sea que se trate de un Premezclado o bien el que se produce en una obra.

En el contexto de nuestro país, la problemática que enfrenta el equilibrio ecológico no es caso aislado de un problema, sino el conjunto de muchos y diversos problemas.

Para prevenir el riesgo de accidentes y efectos adversos en la población y el medio ambiente, es preciso contar con procesos limpios, ordenados y seguros, como única alternativa de convivencia equilibrada.

Para ello, y buscando una solución debidamente regulada que preserve y restaure el equilibrio ecológico y proteja el ambiente en el territorio Mexicano, el 28 de Enero de 1988, se decretó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

## **La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**

Esta ley, establece las bases para:

- 1.- Definir los principios de política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación.
- 2.- El ordenamiento ecológico del territorio nacional.
- 3.- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente.
- 4.- La protección de las áreas naturales, flora y fauna.
- 5.- El aprovechamiento racional de los elementos naturales, de manera que sea compatible la obtención de beneficios económicos con el equilibrio de los ecosistemas.
- 6.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo y
- 7.- La coordinación entre las diversas dependencias y entidades y la participación corresponsable de la sociedad principalmente y de las atribuciones de la ( SEDUE actualmente SEDESOL ), de las que destacan:
  - \* Expedir las Normas Técnicas Ecológicas que serán observadas en todo el territorio nacional.
  - \* Evaluar el Impacto Ambiental en las actividades como la realización de obras públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos, como son, la Obra Pública Federal, Obras Hidráulicas, Industria del Cemento, Automotriz, Desarrollos Turísticos Federales e Instalaciones para el Tratamiento, Confinamiento o Eliminación de Residuos Peligrosos.
  - \* Establecer y desarrollar la política de reuso de aguas.
  - \* Prevenir y controlar la contaminación originada por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica y olores en el D.F. , además de:
  - \* **Inspeccionar, Vigilar e Imponer Sanciones en asuntos de su competencia.**

## NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS

Se entiende por N. T. E. Norma Técnica Ecológica, el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría y que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deben observarse en el desarrollo de actividades que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente y además, que unifiquen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.

En lo que a nuestra industria corresponde, relacionado con la protección al ambiente, son tres grandes rubros los que se señalan en la ley.

1.- Prevención y control de la contaminación de la atmósfera, para que la calidad del aire sea satisfactoria en todos los asentamientos humanos.

2.- Prevención y control de la contaminación del agua, fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y

3.- Prevención y control de la contaminación del suelo, los residuos constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos.

\* En la industria del Concreto, específicamente lo que comprende **POLVOS, RUIDO, y HUMO** de la maquinaria, son los que contaminan la atmósfera.

\* **El Agua del Lavado** de las unidades, grasas, aceites y combustibles derramados o aditivos, contaminan al suelo y al agua.

\* **Concreto Devuelto, Baterías, Llantas** y otros desechos son los que contaminan al suelo.

## **OBSERVANCIA DE LA LEY**

### **EL REGLAMENTO EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL**

Señala que deberán contar con previa autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los Reglamentos y las Normas Técnicas Ecológicas emitidas, esto es en sí, todas las obras o actividades con excepción de las construcciones, instalaciones y demoliciones de bienes inmuebles en zonas urbanas o de la reparación y mantenimiento de tales bienes, cuando se cuente con el permiso o licencia de autoridad competente.

Para obtener la autorización, el interesado, previamente a la realización de la obra o actividad de que se trate, deberá presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental y cuando considere que el impacto ambiental no causará desequilibrio ecológico, ni rebasará los límites y condiciones señalados en los Reglamentos y Normas Técnicas Ecológicas, antes de dar inicio a su obra o actividad, podrá presentar a la Secretaría un informe preventivo, el que una vez analizado por la Secretaría, esta informará al interesado si procede o no la presentación de una Manifestación de Impacto Ambiental.

Tomando en cuenta además, que cualquier persona que considere que en la realización de obras o actividades que se estén llevando a cabo se excedan los límites y condiciones establecidos en los Reglamentos y Normas Técnicas Ecológicas emitidas para la protección del ambiente, podrá solicitar a la Secretaría, en materias de su competencia, que considere la procedencia de requerir a quienes lleven a cabo dicha obra o actividad, la presentación de una manifestación de Impacto Ambiental.

## **PRÁCTICAS ECOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO**

Si bien, es un hecho que la producción de concreto hidráulico como tal, no es considerada propiamente como generadora de contaminación al ambiente, si nos encontramos con que:

Es muy común que los vecinos y el público en general desconociendo lo que es una planta concretera y el concreto mismo, la identifiquen como una cementera, con lo que se forma en la comunidad una falsa imagen a la que con gran facilidad se le suman el polvo que principalmente se levanta del suelo y el ruido de las máquinas, creando en conjunto malestares e inconformidades que se traducen en quejas ante las autoridades, siendo principalmente las ecológicas donde son atendidas, esto, sin omitir que otras autoridades tienen especial atención en lo que a noticias impresas concierne.

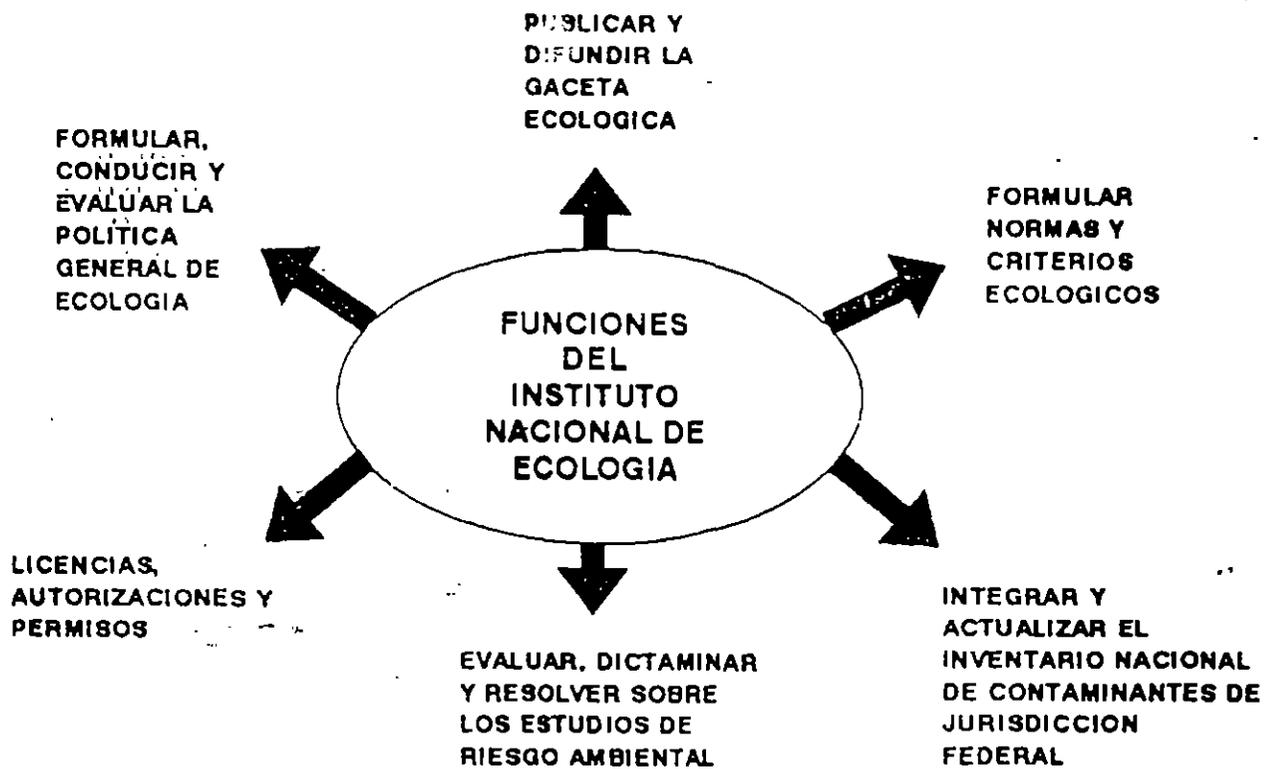
Es por esto, que resulta muy importante cuidar la imagen de la industria, ya que sus problemas principalmente se derivan más por la imagen sucia que proyecta que por la contaminación que pueda producir.

De hecho, la industria del premezclado no es generadora directa de residuos industriales peligrosos en sus procesos de producción, aunque si lo es , a través de su operación, con los desechos de aceites degradados y el ácido sulfúrico de baterías inservibles.

Razón más que suficiente para cuidar su almacenamiento y recolección por personal de empresas de servicio oficialmente reconocidas, que a su vez entreguen constancia de la recolección y expliquen el uso y destino final de los residuos a fin de incluirlos en la Bitácora de Operación.

Otras dependencias, como son las encargadas de la Operación Hidráulica, Agua y Saneamiento, también están exigiendo el minitreo y registro del agua residual de las industrias e incluso han promovido el uso de Agua Residual Tratada para la elaboración de concreto hidráulico.

El cumplimiento de la legislación existente es el aspecto más importante a cuidar con tan solo orden y limpieza durante la operación, con ello no se deteriora la imagen, no se pierde tiempo negociando para evitar bloqueos de vecinos o grupos con bandera verdes, multas, sanciones y problemas jurídicos ni clausuras de autoridades de salud y seguridad.



## SUBPROCURADURIA DE VERIFICACION NORMATIVA



ORDENAR Y REALIZAR VISITAS DE INSPECCION PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS AMBIENTALES



DETERMINAR LAS INFRACCIONES A LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE



EFECTUAR LAS INSPECCIONES PROCEDENTES PARA VERIFICAR LOS HECHOS, MATERIA DE QUEJAS Y DENUNCIAS



REALIZAR ACCIONES DE INSPECCION Y VIGILANCIA DE LAS AREAS NATURALES PROTEGIDAS Y SUS RECURSOS, PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD



PREPARAR LOS PROYECTOS DE RESOLUCIONES O RECOMENDACIONES PARA LOS PARTICULARES O AUTORIDADES, PARA LA APLICACION DE LA NORMATIVIDAD.



VIGILAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION SEÑALADAS EN LAS RESOLUCIONES, AUTORIZACIONES Y DICTAMENES SOBRE IMPACTO AMBIENTAL



FORMULAR LAS NORMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA REALIZACION DE VISITAS DE INSPECCION

## **SUBPROCURADURIA DE AUDITORIA AMBIENTAL**

### **FUNCIONES**

**PLANEA Y REALIZA AUDITORIAS Y PERITAJES AMBIENTALES A EMPRESAS PUBLICAS Y PRIVADAS, CON OBJETO DE REVISAR DE MANERA DETALLADA, LAS INSTALACIONES Y PROCESOS DE EXPLOTACION, TRANSPORTE, PRODUCCION, TRANSFORMACION, USO DE MATERIALES Y DISPOSICION DE RESIDUOS, PARA ESTABLECER MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS.**

**GESTIONA ACCIONES Y VERIFICA EL CUMPLIMIENTO DE LOS PROGRAMAS PARA LA PROTECCION, DEFENSA, RESTAURACION Y PREVENCION DE ACCIDENTES.**

**PROMUEVE UN SISTEMA DE IDENTIFICACION DE EMPRESAS Y PROFESIONALES CAPACITADOS PARA LA REALIZACION DE AUDITORIAS AMBIENTALES.**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**TEMA : CURADO DEL CONCRETO**

1996

1

2

# **CURADO DEL CONCRETO**

## **1. INTRODUCCION**

En este trabajo se presentan principios básicos del curado satisfactorio y se describen los métodos, procedimientos y materiales comúnmente aceptados. Se proporcionan recomendaciones para el curado de pavimentos, otras losas construidas sobre el terreno, así como para estructuras, edificios, concreto masivo, productos prefabricados, concreto lanzado, concreto precolado, concreto refractario, acabados superficiales y otras aplicaciones.

Estas recomendaciones se hacen tomando en cuenta que el concreto se emplea para muchos propósitos y bajo condiciones de servicio muy variadas; por lo tanto, se hacen primero recomendaciones de acuerdo al tipo de **concreto, métodos y materiales** utilizados en su elaboración y, segundo, según el **método de construcción** o el uso que ha de dársele al concreto endurecido.

### **1.2 GENERALIDADES**

Empezaremos por definir el curado que es el proceso mediante el cual se mantiene un **contenido de humedad satisfactorio** y una **temperatura favorable** en el concreto durante la hidratación del cemento; de tal manera que se puedan llevar a cabo las propiedades deseadas en el concreto; una de estas propiedades son **resistencia potencial y durabilidad**, las cuales se desarrollaran totalmente solo si el concreto se **cura en forma adecuada durante un período apropiado** antes de entrar en servicio. Por lo antes expuesto, resulta **esencial** el curado para producir un concreto de calidad

#### **1.2.1 CONTENIDO DE AGUA SATISFACTORIO**

Para que se alcance la máxima resistencia y durabilidad del concreto se requiere que se lleve a cabo una satisfactoria hidratación del cemento. Para que esto suceda, es indispensable que el concreto en estado plástico tenga un **contenido de agua en cantidad suficiente**.

La **calidad de agua** con el que se elabora el concreto es **suficiente**, e inclusive más alta que la que se requiere para combinarse químicamente con el cemento; por lo tanto, es importante cuidar que esta cantidad de agua de mezclado no se pierda en cantidades significativas ya que si esto sucediera la hidratación del cemento no se llevaría a cabo totalmente con la consecuente **afectación en la resistencia potencial y durabilidad del concreto**.

La **pérdida del agua de mezclado** se suscita entre otras causas por **evaporación, absorción de los agregados, cimbras defectuosas y sub-bases secas**.

La evaporación se puede controlar por medio de una protección y un curado apropiado; los efectos de secado por absorción se reducirán usando agregados húmedos; la pérdida de agua por defecto de las cimbras se eliminará usando cimbras no absorbentes y finalmente la pérdida del agua de mezclado al colorar el concreto en sub-bases secas se remedia humedeciendo esta el momento de colar

Resulta especialmente importante que, tan pronto como se haya colado el concreto, se prevenga una reducción no deseada del contenido de humedad de la pasta. Tal reducción tiende a disminuir la hidratación. La pérdida de humedad en esta etapa origina la contracción por secado del concreto y la formación de grietas en la pasta.

Una indicación de que la pasta está perdiendo agua es el surgimiento de grietas debidas a la contracción plástica en la superficie del concreto, aproximadamente cuando éste se encuentra listo para recibir su acabado final. La pronta evaporación puede remover el agua de la superficie más rápidamente de lo que puede reponerse con el agua de sangrado. La aparición de grietas debidas a la contracción plástica indica la necesidad de tomar correctivas inmediatas para prevenir que se sigan formándose.

### **1.2.2 TEMPERATURA FAVORABLE**

La reacción entre el cemento y el agua varía de acuerdo a la temperatura, teniendo lugar lentamente a bajas temperaturas hasta de -12 grados centígrados y con mayor rapidez a temperaturas elevadas un poco inferiores al punto de ebullición del agua. El concreto, las temperaturas inferiores a los 10 grados centígrados resultan desfavorables para el desarrollo de la resistencia a temprana edad. A menos de 5 grados centígrados, el desarrollo de la resistencia a temprana edad se retarda en grado sumo; a temperaturas de congelación se forma poca resistencia. A pesar que la reacción es mayor a temperaturas elevadas, existen alguna evidencia de que el curado a temperaturas superiores a los 66 grados centígrados no es tan benéfico como un curado prolongado a temperaturas inferiores. El curado en el autoclave efectuado a temperaturas por encima de 166 grados centígrados acelera en gran medida la hidratación y puede producir, en pocas horas, resistencias iguales a las obtenidas en curados a 28 días a 21 grados centígrados. Sin embargo, el curado del concreto en el autoclave es un caso especial, ya que a temperaturas y presiones elevadas ocurren reacciones químicas adicionales entre los agregados y los materiales cementantes, las cuales no se originan en condiciones normales.

Las pruebas indican que cuando el concreto se mantiene a temperaturas más elevadas durante su fraguado y endurecimiento inicial, las resistencias a edades posteriores son menores que las de los concretos similares curados a más bajas temperaturas durante este período inicial. El evitar que el concreto adquiera temperaturas elevadas durante el curado no solo ayudará a reducir la cantidad de agrietamientos durante el enfriamiento sino que también propiciará mayores resistencias a edades posteriores.

La temperatura del concreto al ser colado se ve afectada por el aire circundante, por la absorción del calor solar, por el calor de hidratación del cemento y por la temperatura inicial de los materiales. La evaporación del agua de mezclado o de curado en la superficie del concreto puede producir un efecto de enfriamiento muy significativo, lo cual resulta benéfico mientras la evaporación sea menor que la que se necesita para originar agrietamientos.

El concreto se expande cuando su temperatura aumenta y se contrae cuando ésta disminuye. Resulta mejor evitar temperaturas de curado más altas que el promedio de temperatura del concreto pronosticado para su período de servicio. Es deseable mantener una temperatura razonablemente uniforme en toda la masa del concreto.

## **2.1 ALCANCE**

**Este capítulo describe los principales métodos o procedimientos para la protección y el curado del concreto, así como los materiales utilizados con mayor frecuencia para ese propósito. Existen varios materiales y procedimientos disponibles para emplearse en condiciones y productos de concretos especiales y otros a desarrollarse en el futuro. Sin embargo, los principios involucrados son siempre los mismos, a saber: asegurar la disponibilidad de agua para la hidratación del material cementante y mantener el concreto a una temperatura que permita obtener la ganancia de resistencia deseada.**

**Existen dos sistemas generales para mantener la presencia de la cantidad de agua requerida para la hidratación, la cual es suministrada inicialmente por el agua de mezclado del concreto: (1) creando un ambiente húmedo por medio de la aplicación continua o frecuente de agua a base de anegamiento, rocíos, vapor o materiales de recubrimiento saturados de agua, como mantas de algodón o yute, tierra, arena, aserrín y paja o heno; y (2) previniendo la pérdida de agua de mezclado del concreto por medio de materiales selladores, como hojas de papel o plástico impermeables, o aplicando un compuesto líquido para formar membranas de curado al concreto recién colocado. Debe tenerse cuidado en asegurar que los materiales de recubrimiento saturados no se sequen y absorban agua del concreto**

## **2.2 CURADO CON AGUA**

**En cada obra en particular deberán tomarse en consideración los aspectos económicos del método seleccionado para el curado con agua, pues la disponibilidad del agua, la mano de obra y los materiales de curado, así como los implementos para llevar a cabo el trabajo en cuestión, influyen en la selección de dicho método. Este debe proporcionar el total de agua que satisfaga los requerimientos de la mezcla (libre de materias nocivas), y en donde la apariencia sea un factor importante, el agua deberá carecer de sustancias que manchen o decoloren el concreto. En las siguientes secciones se describen los métodos comunes del curado con agua.**

## **2.2.1 ANEGAMIENTO O INMERSION**

El método de curado con agua más completo pero menos utilizado consiste en la inmersión total en agua de la unidad de concreto terminada. El anegamiento se usa en ocasiones para losas tales como pisos de puentes, alcantarillas, pavimentos, techos planos o en cualquier lugar en donde se pueda crear un estanque de agua a base de un dique o borde de tierra impermeable o de otro material en el borde de la losa. También se puede usar en lugares donde exista una corriente de agua, como en una alcantarilla. Debe evitarse que el agua anegada sea liberada repentinamente o fuera de tiempo; pues esto podría dañar al concreto. Por ejemplo, si el agua anegada se fuga, la losa no obtendrá el curado apropiado; por otra parte, el agua podría ablandar el suelo sustentante o dañar otra construcción u objetos. El agua de curado no debe de estar más de 11 grados centígrados más fría que el concreto, debido a los esfuerzos por cambios de temperatura que se originarían, con el agrietamiento consiguiente.

## **2.2.2 ROCÍOS O RIEGO DE AGUA**

El riego o rocío de agua por medio de boquillas o dispositivos de riego proporcionan un excelente curado cuando la temperatura se encuentra bastante por arriba del grado de congelación. En los casos en donde las temperaturas superiores a las atmosféricas normales son permisibles, como en el curado de productos elaborados en una planta, se usa vapor a presión atmosférica, el cual, si es controlado en la forma adecuada, mantiene una película de humedad sobre las superficies del concreto durante el curado. Los dispositivos de riego giratorios resultan efectivos cuando no existe el problema de que el agua se escurra fuera del área por curar. La desventaja del riego es el costo del agua, a menos que exista un suministro disponible tan amplio que justifique el costo del bombeo. El riego intermitente no es aceptable si en los intermedios se seca la superficie el concreto. Las mangueras de chorro son útiles, especialmente cuando se trata de superficies verticales o casi verticales. Debe tenerse cuidado de que no ocurra erosión en la superficie.

## **2.2.3 MANTAS DE ESTOPA, ALGODON O YUTE**

Las mantas de estopa, algodón o yute, al igual que otras cubiertas de materiales absorbentes, conservan el agua en la superficie, ya se horizontal o verticalmente. Las mantas de estopa no deben de tener ningún recubrimiento o cualquier otra sustancia que pueda resultar perjudicial para el cemento portland o le cause decoloración. Las mantas de estopa nuevas deben de enjuagarse con agua para remover las substancias solubles y hacerlas más absorbentes. Existen mantas de estopa tratadas para resistir la putrefacción y el fuego (ambas propiedades importantes cuando las mantas secas o húmedas deben almacenarse entre diferentes trabajos). Entre más pesada sea la manta de estopa, mayor será la cantidad de agua que retendrá y menor la frecuencia con que tendrá que humedecerse. Puede ser ventajoso usarla de doble grueso. Si las tiras se doblan por la mitad a lo ancho al colocarlas, se logrará

una mayor retención de la humedad y se ayudará a evitar que la manta de estopa se mueva de su lugar debido al viento fuerte o a aguaceros.

Las mantas de algodón o yute retienen el agua durante más tiempo que las de estopa y con menos riesgo de que el curado resulte inadecuado. Se manejan en forma muy semejante a las de estopa excepto que debido a su mayor peso, su aplicación a una superficie recién terminada debe esperar hasta que el concreto haya endurecido a un mayor grado que cuando se usan las mantas de estopa. Usualmente, antes de colocar las mantas de algodón húmedas y más pesadas, se aplica un curado inicial con estopa ligera u hojas impermeables durante algunas horas

#### **2.2.4 CURADO CON TIERRA**

El curado con tierra húmeda ha sido usado en forma efectiva, tanto en trabajos comparativamente pequeños de losas o pisos, como en la pavimentación de carreteras. La tierra debe de estar libre de partículas mayores de una pulgada y no debe contener materias orgánicas u otras substancias que puedan dañar al cemento, retardando o destruyendo sus propiedades de fraguado.

#### **2.2.5 ARENA Y ASERRÍN**

En la misma forma que el curado con tierra, se utilizan arena y aserrín húmedos y limpios. Para el curado no debe usarse aserrín de maderas que contengan demasiado ácido tánico, como el de la encina, pero otros tipos de madera resultan aceptables. Estos materiales granulares limpios resultan especialmente útiles en obras en donde los carpinteros y los trabajadores encargados de colocar las cimbras tienen que trabajar sobre la superficie, pues estas cubiertas ayudan a protegerla contra marcas y manchas.

#### **2.2.6 PAJA O HENO**

También pueden usarse heno o paja para efectuar el curado, pero siempre existe el riesgo de que el viento se los lleve, a menos que se aseguren con tela de alambre, estopa u otros medios. También existe el peligro de incendio si se permite que la paja se seque. Tales fibras vegetales pueden causar decoloración en la superficie, la cual durará varios meses después de concluido el curado. La capa debe de ser por lo menos de 15 cm. de espesor.

### **2.3 MATERIALES SELLADORES**

Los materiales selladores son hojas o membranas colocadas sobre el concreto, a fin de reducir la pérdida de agua de mezclado. A pesar de que los materiales selladores no son necesariamente tan efectivos como la aplicación de agua durante todo el período de curado, existen ventajas en su utilización, las cuales lo hacen preferibles bajo muchas condiciones. Por ejemplo, si la humedad queda encerrada, existen menos probabilidades de que el curado

sea deficiente debido a la negligencia de no mantener húmedo el recubrimiento. Además, los materiales selladores son menos costosos, más fáciles de manejar y pueden ser aplicados antes que otros materiales, muchas veces sin ningún curado inicial. En las siguientes secciones se describen los materiales selladores más comunes. Las cimbras dejadas en su lugar de colocación sirven para prevenir la pérdida de humedad de las superficies que se encuentran en contacto con ellas.

### **2.3.1 PELÍCULA PLÁSTICA**

La película plástica es ligera y puede aplicarse tan pronto como el agua libre haya desaparecido de la superficie. Existe disponible en espesores de 13 micras y más, y en hojas transparentes, blancas o negras. Sin embargo, para el curado del concreto, la película plástica debe satisfacer los requerimientos de la Norma ASTM C 171, con excepción del color. La norma ASTM C 171 especifica un espesor de 104 micras. Esta norma no menciona las hojas negras, aunque este color resulta satisfactorio bajo algunas condiciones. Las blancas son más caras, pero ofrecen un considerable reflejo de los rayos del sol, mientras que las transparentes tienen poco efecto sobre la absorción del calor. Debe tenerse cuidado en no rasgar la película plástica o interrumpir la continuidad del curado. La película plástica reforzada con fibra de vidrio es más durable y tiene menos probabilidades de romperse.

El concreto arquitectónico o de color sujeto a exámenes críticos debe curarse por otros medios, pues la condensación de humedad en la cara inferior de la película plástica lisa crea una distribución no uniforme de agua en el concreto, permitiendo el desplazamiento de sustancias solubles, lo cual usualmente origina una apariencia jaspeada. Esto puede no tener consecuencias serias en pavimentos, losas de techos, aceras y cunetas y puede prevenirse anegando ocasionalmente la parte inferior de la película.

Las combinaciones de película plástica con materiales textiles absorbentes ayudan a retener y a distribuir la humedad liberada por el concreto que se encuentra condensada en la cubierta de curado. La norma ASTM C 171 proporciona las especificaciones para este tipo de material.

En su aplicación, la película plástica debe ser colocada sobre la superficie húmeda del concreto fresco tan pronto como sea posible, teniendo cuidado de que no dañe la superficie y de que cubra todo el concreto expuesto. Debe ser colocada y cargada de manera tal que permanezca en contacto con el concreto durante el tiempo de curado especificado. En superficies planas, como pavimentos, la película debe extenderse más allá de las orillas de la losa en por lo menos el doble de espesor de ésta. A lo largo de todas las orillas y las juntas de la película, deberán colocarse hileras de arena o tierra, o bien, tablas de madera, a fin de retener la humedad en el concreto y evitar que el viento penetre debajo de la película y la levante. En lugar de este procedimiento resulta aceptable y generalmente más económico usar una tira delgada de película plástica a lo largo de las orillas verticales,

colocándola sobre la hoja en la superficie horizontal y asegurando todas las orillas con hileras de arena o tiras de madera. Cuando esta cubierta deba removerse, la tira se puede jalar fácilmente, dejando libre la hoja horizontal, la cual puede ser enrollada sin que alguna rasgadura o pliegue dañe la superficie. Esto también se aplica cuando se usa papel impermeable.

### **2.3.2. PAPEL IMPERMEABLE**

El papel impermeable debe satisfacer los requerimientos de la norma ASTM C 171. Está compuesto por dos pliegos de papel kraft unidos entre sí por medio de un adhesivo bituminoso y reforzado con fibras. La mayoría de los pliegos de papel para curado han sido tratados a fin de reducir su expansión y compactación al humedecerse o secarse. Los pliegos pueden unirse con el cemento bituminoso según resulte necesario para satisfacer los requerimientos de espesor determinados.

Se dispone de pliegos de papel con una cara blanca, de manera de reflejar y reducir la absorción del calor. En la norma ASTM C 171 se incluye un requerimiento de reflejo, con el fin de asegurar un grado aceptable de control de la temperatura.

El papel impermeable se aplica de la misma manera que la película plástica.

Este material se puede usar varias veces, mientras retenga la humedad eficientemente. Las rasgaduras son fácilmente detectables y pueden repararse con un parche de papel pegado con una goma impermeable o con cemento bituminoso. Los orificios que resultan de las pisadas sobre el papel o por el deterioro del mismo al ser usado en repetidas ocasiones, se detectan sosteniéndolo contra la luz. Cuando su condición es dudosa, se puede volver a utilizar colocándolo doble.

### **2.3.3. COMPUESTOS LIQUIDOS PARA FORMAR MEMBRANAS DE CURADO**

Los compuestos líquidos para formar membranas de curado para el concreto deben satisfacer los requerimientos de la norma ASTM-C 309. Los compuestos que consisten esencialmente en ceras, como resinas, hule clorado y solventes muy volátiles a temperaturas atmosféricas se utilizan en gran medida para el curado del concreto. Su fórmula debe ser tal que proporcione un sellado total poco después de la aplicación y no debe ser perjudicial para la pasta de cemento portland. Algunas veces se agregan pigmentos blancos o grises al compuesto para que refleje los rayos del sol y para hacer que dicho compuesto sea visible en la estructura y pueda inspeccionarse. Los compuestos de curado no deben usarse en superficies que vayan a recibir concreto adicional, pintura o mosaico que requiera de una unión efectiva, a menos que se haya demostrado que la membrana puede removerse

satisfactoriamente antes de efectuar la aplicación subsecuente, o que dicha membrana puede servir en forma eficiente como base para la aplicación.

El compuesto debe aplicarse con una rapidez uniforme a fin de satisfacer los requerimientos de la prueba de retención de agua (ASTM C 156-65). Los valores usuales de cobertura oscilan entre los 3.5 y 5 m<sup>2</sup>/lt. El compuesto puede aplicarse por medio de aspersión manual o por un distribuidor mecánico, normalmente a una presión de 5 a 7 kgf /cm<sup>2</sup>. Si el tamaño de la obra lo justifica, resulta preferible la aplicación mecánica por su velocidad y uniformidad de distribución. En áreas muy pequeñas como los parches, se puede aplicar con un cepillo grande y suave.

Los compuestos líquidos para formar membranas de curado generalmente deben aplicarse cuando el agua libre de la superficie ha desaparecido y no se observa ningún brillo de agua, pero antes de que el compuesto líquido de curado pueda ser absorbido por los poros superficiales del concreto. Sin embargo, bajo ciertas condiciones climatológicas adversas, en donde puedan formarse agrietamientos por contracción plástica del concreto fresco, tal vez sea necesario aplicar el compuesto inmediatamente después de la operación final de acabado y antes de que el agua libre de la superficie desaparezca completamente, para prevenir la formación de grietas.

En superficies de concreto moldeadas, el compuesto de curado debe aplicarse inmediatamente después de la remoción de las cimbras. Si la superficie se ha secado o si se observa una pérdida de humedad apreciable, el concreto deberá rociarse con agua, hasta que su apariencia sea uniformemente húmeda, sin agua libre en la superficie; entonces se podrá aplicar el compuesto.

A menos que la fórmula contenga algún agente tixotrópico para prevenir los asentamientos, los compuestos pigmentados deberán agitarse para asegurar la distribución uniforme del pigmento durante la aplicación del compuesto

## **2.4. MANTAS O CUBIERTAS AISLANTES**

La protección del concreto contra la congelación, cuando las temperaturas bajan a menos de 0 grados centígrados, se puede asegurar aislándolo con capas de un material seco y poroso como paja o heno. También se usan otros dispositivos dependiendo del tipo de estructura y de acuerdo a las diversas consideraciones económicas.

Los pavimentos y las losas planas generalmente se protegen con capas de aislante colocadas en la superficie y a lo largo de los bordes o lados. La cara inferior, en caso de estar por encima de la sub-base, deben encerrarse para permitir el uso de calentadores, especialmente cuando se esperan temperaturas muy por debajo del punto de congelación. Las cimbras de madera pueden aislarse y en realidad protegen considerablemente al concreto de la congelación, pero tal vez no lo suficiente, a menos que se complementen

con calor adicional proveniente de un homillo portátil o de otro dispositivo similar. Debe ponerse especial cuidado en evitar que las cimbras se incendien; los calentadores deben contar con ventilación a fin que los gases de combustión salgan del recinto y pueda evitarse la carbonatación del concreto fresco.

Las áreas encerradas con lona u otros materiales y diseños deben ser prácticamente herméticas y poseer la suficiente resistencia estructural para soportar cargas de nieve o vientos fuertes. Cuando van colocadas en losa sobre nivel del suelo o alrededor de otros tipos de estructuras, pueden calentarse por medio de calentadores ambientales o con vapor, pero debe tenerse cuidado en evitar que el calor se concentre en las partes de concreto cercanas a los calentadores, pues podrían aparecer manchas en el concreto. Cuando se usa vapor existe la posibilidad de que se forme hielo en las cubiertas y a los lados del área encerrada, lo cuál puede causar problemas o inconvenientes.

Para proteger las cimbras o las cubiertas se les puede colocar mantas de lana sintética, poliestireno y otros materiales similares, las cuales pueden dejarse colocadas para futuros usos de las cimbras. Tales mantas deben estar protegidas contra el agua o la humedad condensada, que reducirían la efectividad de la protección.

Las mantas de algodón protegen ampliamente el curado bajo condiciones climatológicas templadas, pero no resultan suficientes como aislantes térmicos si se usan en la manera habitual en las temperaturas bajo cero continúan por más de unas cuantas horas. Siempre que el promedio de temperatura no baje de  $-4$  grados centígrados, las mantas de algodón secas proporcionarán protección contra el congelamiento durante los primeros días. También se puede efectuar un curado inicial con un compuesto de curado, una película de polietileno, pliegos de papel o cualquier otro procedimiento de curado normal que no sature las mantas de algodón, colocando las mantas sencillas o en dobleces para obtener la protección deseada.

## **2.5 CURADO CON VAPOR A ALTA PRESION**

El curado con vapor a alta presión, o autoclave, a quedado cubierto en detalle por el reporte preparado por el comité ACI 516. Este procedimiento se usa en la producción de algunas unidades de concreto de mampostería en tubos de asbesto-cemento y en concreto ligero celular.

## **2.6 CURADO CON VAPOR A BAJA PRESION (O A PRESION ATMOSFERICA)**

El curado con vapor a baja presión o a presión atmosférica a quedado cubierto en detalle por la norma ACI 517. Este tipo de curado se usa comúnmente en la fabricación de productos de concreto, para acelerar el desarrollo de resistencias a temprana edad.

## **2.7 CURADO EN CLIMA CALIDO**

En clima cálido el concreto debe ser curado de acuerdo a la norma ACI 605. Ya que el clima cálido acelera el secado del concreto, la protección y el curado resultan mucho más críticos que en climas fríos. Siempre que sea práctico, deberá usarse el curado con agua en forma continua, para evitar cambios volumétricos debido a la intermitencia de humedecimiento y secado. La necesidad de un curado continuo adecuado es mucho mayor durante las primeras horas posteriores a la colocación del concreto en clima cálido.

## **2.8 CURADO EN CLIMA FRIO**

En clima frío, el concreto debe ser curado de acuerdo a la norma ACI 306. A pesar de que no es probable que el concreto expuesto a un clima frío se seque con una rapidez no debida, debe tenerse cuidado en mantener la humedad satisfactoria en un concreto sometido a la protección requerida.

## **2.9 EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CURADO**

Varios investigadores han estudiado durante muchos años las ventajas relativas de los diferentes procedimientos de curado, llegando a conclusiones variadas excepto bajo condiciones controladas en el laboratorio, son tantas las variables que resulta muy difícil establecer, a no ser de forma general, cuál procedimiento es el más efectivo o cuál es el grado de aproximación de un procedimiento al curado ideal. En la práctica, la influencia de las variaciones incontrolables de humedad y de temperatura de hora a hora, y la atención que los obreros y los supervisores prestan al curado, tienen un efecto considerable en los resultados obtenidos.

La norma ASTM C 156 se ha usado para comparar la efectividad de la retención de agua entre los compuestos líquidos para formar membranas de curado y las hojas impermeables, así como para evaluar sus aceptaciones en el mercado. Sobre el curado de pavimentos de concreto, el Highway Research Board Committee MC-B4 preparó los "procedimientos recomendables para determinar las ventajas relativas de los métodos de curado en el campo para pavimentos de concreto a base de cemento portland".

Generalmente se considera que el método ideal para el curado es por medio de la aplicación directa del agua, ya sea por riego o rocíos, anegamiento o cubiertas húmedas. Tales métodos resultan satisfactorios solo mientras la presencia del agua es continua y no existe oportunidad de que el concreto se seque hasta el grado en el que la hidratación del cemento cesa. Los humedecimientos y secados intermitentes, especialmente después de 2 o 3 días de curado inicial satisfactorio, harán posible una ganancia continua de resistencia, aunque no tan rápidamente como por medio del curado continuo. El curado intermitente durante las fases iniciales de endurecimiento probablemente originará grietas superficiales o reducirá la durabilidad del concreto en servicio.

La eficiencia del curado con hojas impermeables depende del grado en el que pueda mantener el agua que se encuentra dentro o en contacto con el concreto. Cualquier fuga en los bordes o en las juntas entre hojas, o a través de rasgaduras u orificios, reducirá la eficiencia del curado. Algo similar sucede con los compuestos líquidos para formar membranas de curado si su aplicación no es uniforme o resulta insuficiente; la pérdida de humedad a través de zonas delgadas o abiertas reduce la eficiencia del curado. Además, si la aplicación se demora demasiado, puede presentarse una pérdida de agua importante antes de que la superficie quede sellada.

No siempre es posible determinar el grado de eficiencia del curado, pues las condiciones atmosféricas durante dicha operación juegan un papel importante en su desarrollo. Es posible que durante un clima lluvioso o nublado se requiera efectuar un curado sencillo o definitivamente no resulta necesario hacerlo, aunque tal vez deba protegerse la superficie contra deslaves o erosión durante las lluvias muy fuertes. En ambientes muy poco húmedos, debe tenerse extremo cuidado en prevenir pérdidas de humedad del concreto.

## **2.10 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA DURACION DEL CURADO**

Los factores económicos deben considerarse al decidir cuando terminar el curado; los beneficios del curado se comparan contra factores tales como costo, disponibilidad de los medios de curado, necesidad de pronto acceso o protección de una superficie durante las operaciones constructivas subsecuentes y comportamiento deseado.

Normalmente, se utiliza la resistencia para medir la calidad relativa de un concreto. Una resistencia específica se logra en el menor tiempo posible con un curado continuo. Cuando el curado se interrumpe antes de obtener la resistencia deseada, el curado subsecuente, ya sea por medio de fuentes naturales, como la lluvia, o por aplicaciones artificiales de humedad, permitirá obtener mayores ganancias en resistencia, pero con mayor lentitud que tratándose del curado continuo. La resistencia del concreto se juzga probando vigas o cilindros estándar elaborados en el campo y curados bajo condiciones específicas controladas, usualmente en el laboratorio. Para establecer el tiempo de determinación del curado, o el tiempo para el descimbrado, se usan muestras de prueba elaboradas en el campo y curada lo más parecido posible al concreto que representan. Estas muestras reflejarán la influencia de las condiciones atmosféricas sobre las propiedades del concreto. Para elaborar y probar las muestras, deben seguirse los métodos apropiados de las normas ASTM C 31, C 39 y C 78 o normas Mexicanas NMX-C-156, C-160 y C-83.

También se pueden practicar pruebas de resistencia en muestras preparadas a partir del concreto colocado en la obra (corazones extraídos o vigas aserradas); o pueden efectuarse pruebas no destructivas para establecer la resistencia aproximada del concreto ya colocado. Un método no destructivo de creciente aceptación en las plantas de elementos prefabricados y preforzados, es el uso de equipo ultrasónico, el cual mide la velocidad de una onda de sonido a través del concreto. Asimismo, se pueden usar dispositivos de impacto para estimar la resistencia del concreto ya colocado.

El curado también mejora otras propiedades del concreto, como la impermeabilidad y la resistencia a la abrasión, al congelamiento y al deshielo y al ataque de sulfatos. En consecuencia, muchas veces es deseable que el curado se prolongue más de lo necesario para alcanzar una cierta resistencia.

No debe resultar sorprendente el hecho de que existan algunas diferencias en la duración del curado para diferentes tipos de concreto, según se prescribe en los siguientes capítulos. En cada caso la duración de curado recomendable se basa en aquello que resulta práctico y, sin embargo, suficiente.

## **EL CURADO EN LOS DIFERENTES METODOS DE CONSTRUCCION**

### **3.1 PAVIMENTOS Y OTRAS LOSAS COLADAS SOBRE EL TERRENO**

#### **3.1.1 GENERALIDADES**

Las losas colocadas sobre el terreno incluyen los pavimentos de carreteras y aeropuertos, los recubrimientos de canales, las losas de estacionamiento, las calles, las aceras, y las losas inferiores de los edificios. Las losas poseen una elevada relación del área superficial expuesta al volumen de concreto y, sin un curado inicial apropiado, la pérdida de humedad debida a la evaporación puede ser tan rápida y excesiva que origine agrietamientos por contracción plástica y, además, tener un efecto negativo sobre la resistencia, la resistencia a la abrasión y la durabilidad del concreto. Otra causa de la rápida pérdida de humedad del concreto fresco es el humedecimiento inadecuado del suelo, antes de la colocación de las losas. Por lo tanto, para prevenir una pérdida de humedad excesiva del concreto fresco, deberá humedecerse el terreno de antemano o sellarse por medio de una barrera contra vapores y, después de terminada la losa, efectuar el curado lo antes posible.

La elevada relación del área superficial expuesta al volumen de concreto también puede originar que el concreto curado inadecuadamente quede sujeto a variaciones de temperatura excesivas. Si los esfuerzos debidos a las variaciones de temperatura sobrepasan la resistencia a la tensión del concreto, tendrá lugar un agrietamiento de la losa. El tipo de curado elegido afectará la variación de temperatura del concreto; por lo tanto, los métodos de curado recomendables deben ser aquellos que tiendan a minimizar las variaciones de temperatura iniciales bajo las condiciones presentes normalmente.

#### **3.1.2 PROCEDIMIENTO DE CURADO**

Una vez terminadas las operaciones finales y tan pronto como el concreto no se dañe, toda la superficie del concreto recién colocado deberá tratarse de acuerdo a un método, o a una combinación de los métodos de curado con agua o de sellado antes descritos.

En condiciones normales de colocación, se pueden usar ya sean materiales selladores o un curado continuo efectuado bajo mantas húmedas de estopa, algodón o yute o cualquier otro material aprobado.

En caso de que comiencen a formarse agrietamientos por contracción plástica, el concreto debe curarse inicialmente por medio del riego o rocíos, o por la aplicación de materiales selladores. Las superficies expuestas de la losa deben cubrirse totalmente y mantenerse húmedas o selladas hasta que el

concreto esté lo suficientemente firme como para permitir que una persona camine sobre él sin dañarlo.

Las mantas utilizadas durante el período inicial del curado pueden dejarse en su lugar y mantenerse saturadas de agua hasta la terminación del curado, o pueden removerse al finalizar el período inicial de curado; en este caso, la superficie del concreto deberá cubrirse con alguno de los siguientes materiales: **Compuestos líquidos para formar membranas de curado, hojas de polietileno, papel impermeable, tierra o paja húmeda o por medio de anegamiento con agua.**

### **3.1.3 DURACION DEL CURADO**

**Para temperaturas ambiente superiores a 4 grados centígrados, el período mínimo de curado recomendable para todos los procedimientos es de 7 días, o el tiempo necesario para obtener el 70% de la resistencia a la compresión o a la flexión especificada, cualquiera de los períodos que resulte menor. Si el concreto se coloca a una temperatura ambiente de 4 grados centígrados o inferior, deben tomarse precauciones para prevenir que se dañe por congelamiento, de acuerdo a los requerimientos de la norma ACI 306-66.**

## **3.2 ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS**

### **3.2.1 ALCANCE**

**Dentro de las estructuras y edificios de concreto se incluyen muros, columnas, losas, vigas y otras partes de los edificios, a excepción de las losas colocadas sobre el terreno. También se incluyen pequeñas zapatas, muros de contención, cubiertas de puentes, pasamanos, cubiertas de alcantarillas y túneles. No se incluye el concreto masivo, el concreto prefabricado y las construcciones especiales.**

### **3.2.2 PROCEDIMIENTO DE CURADO**

**Bajo condiciones de colocación normales, el curado debe ser efectuado según uno o varios de los métodos antes descritos.**

**Cuando se requiera curar las superficies interiores después de remover las cimbras, deberá aplicarse ya sea un compuesto líquido para formar una membrana de curado o un rocío de agua suficiente para mantener la humedad.**

**En el caso de las superficies verticales o en donde se utilicen cimbras, después de endurecido el concreto y mientras las cimbras permanezcan en su lugar, deberá aplicarse agua para que escurra por dentro de la cimbra, para mantener húmedo el concreto. Inmediatamente después del descimbrado, las superficies deberán conservarse continuamente húmedas, ya sea por riego de agua o por la aplicación de una manta húmeda. Si se desea, y dentro de las**

limitaciones antes descritas, el curado a base de una membrana puede ser sustituido por el curado con agua.

### **3.2.3 DURACION Y PROTECCION DEL CURADO**

**En temperaturas por arriba de los 4 grados centígrados, el curado debe ser continuo por un mínimo de 7 días o durante el tiempo necesario para obtener el 70% de la resistencia a la compresión o a la flexión especificada, el periodo que resulte más corto. Si el concreto es colocado a una temperatura ambiente de 4 grados centígrados o más baja, deben tomarse las precauciones pertinentes para prevenir daños por congelamiento, según se especifica en la norma ACI 306-66. Para algunos elementos estructurales, como las columnas los cuales están compuestos de concreto de alta resistencia (420 kg/cm<sup>2</sup> o más), los periodos de curado se pueden aumentar hasta 28 días con el fin de permitir el desarrollo de la resistencia potencial del concreto. Si por alguna razón se requiere remover las cimbras de apoyo antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia requerida, deberán tomarse las medidas necesarias para efectuar un curado adicional bajo condiciones controladas.**

## **3.3. CONCRETO MASIVO**

### **3.3.1. ALCANCES**

**Se define al concreto masivo como: "cualquier volumen grande de concreto, colocado en la obra, de dimensiones lo suficientemente grandes como para requerir que se tomen medidas para hacer frente a la generación de calor y a los cambios de volumen consiguientes, con el fin de minimizar su agrietamiento."**

Se utiliza muy frecuentemente en pilotes, contrafuertes, presas, cimentaciones pesadas y otras construcciones masivas similares. El contenido de cemento o el total de material cementante varían normalmente entre 119 y 237 kg/m<sup>3</sup>. El concreto masivo también se aplica en vigas y columnas masivas, en donde se requiere una alta resistencia, un alto contenido de cemento y agregados de dimensiones moderadas. **En estos casos, el control de la temperatura asume una importancia considerable debido al calor generado en esas grandes masas. Por lo tanto, deberán seguirse las prácticas recomendables descritas a continuación, en lo que respecta al control de la temperatura y al de curado y humedad.**

### **3.3.2 CONTROL DE LA TEMPERATURA**

**En estructuras no reforzadas de grandes dimensiones, como presas, en donde el criterio de diseño es tal que se hace necesario establecer una temperatura razonablemente estable y uniforme en toda la masa tan pronto como resulta posible hacerlo después de la colocación, particularmente para**

evitar agrietamientos, la temperatura interna durante la hidratación no debe subir más de 11 grados centígrados por encima del promedio anual de temperatura ambiente. Para lograr lo anterior, además de una reducción en la temperatura de colocación, tal vez se requiera utilizar un sistema de enfriamiento dentro de la masa de concreto. El uso de un cemento con poco calor de hidratación, o de un contenido de cemento reducido en combinación con una puzolana, son también medidas efectivas para reducir la evolución de calor. En el informe del Comité ACI 207 se describen los métodos para controlar las temperaturas del concreto masivo.

En elementos de concreto muy reforzado, como secciones de impacto, cimientos de maquinaria pesada y vigas de transferencia de carga, resulta deseable evitar aumentos de temperatura marcados durante los primeros días, aunque en tales elementos frecuentemente se han encontrado temperaturas internas del concreto tan altas como 55 grados centígrados. Sin embargo, debido a la gran cantidad de refuerzo que se utiliza en esas construcciones, estas altas temperaturas aparentemente no han resultado dañinas.

### **3.3.3. METODOS Y DURACION DEL CURADO**

Se recomienda el curado con agua para mantener continuamente húmedas las superficies de concreto masivo horizontales o inclinadas no cimbradas. A este efecto, puede usarse riego de agua, arena húmeda o mantas empapadas con agua. Se puede permitir el uso de un compuesto líquido para formar membranas de curado, siempre y cuando la superficie no sea una junta de construcción, o si la membrana va a removerse a base de sopleteado con arena antes de colocar el concreto adyacente. La apariencia de la superficie también puede ser un factor de consideración cuando se elija un curado de ese tipo.

En superficies verticales y en donde se utilicen cimbras, después de endurecido el concreto y mientras las cimbras permanezcan en su lugar, deberá aplicarse agua para que escurra por dentro de la cimbra, en caso necesario, para mantener húmedo el concreto. Inmediatamente después del descimbrado las superficies deberán conservarse continuamente húmedas, ya sea por medio de riego de agua o por aplicación de una manta húmeda.

El curado debe iniciarse tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente como para prevenir que su superficie se dañe. En secciones masivas no reforzadas que no contengan puzolanas, el curado deberá continuar por no menos de 2 semanas. En donde se haya incluido puzolana como uno de los materiales cementantes, el curado no debe durar menos de 3 semanas. En juntas de construcción, el curado deberá prolongarse hasta que la colocación de concreto vuelva a iniciarse o hasta que termine el período de curado requerido. En secciones masivas muy reforzadas, el curado debe ser continuo y durar un mínimo de 7 días.

## 3.4 ELEMENTOS PREFABRICADOS

### 3.4.1 ALCANCE

Un elemento prefabricado es un producto de concreto elaborado, curado y terminado en un lugar o posición diferente al que va a ocupar en servicio. Los elementos prefabricados típicos son los tubos, bloques, ladrillos y elementos estructurales de concreto, tales como canales, vigas T simples y dobles, columnas y tableros para pisos y muros. **A estos productos generalmente se les aplica algún tipo de curado acelerado, a fin de poder volver a utilizar las cimbras y el espacio para prefabricación en forma costeable.**

Debido a la variedad de productos y métodos de fabricación, se usan diversos procedimientos de curado. Los bloques y ladrillos de concreto, así como algunos tipos de tubo y otros productos, se remueven de los moldes inmediatamente después de la colocación del concreto, permitiendo que la mayor parte de su superficie quede expuesta a las condiciones ambientales. Los tubos grandes prefabricados, al igual que los tableros en donde la colocación de concreto se realiza verticalmente, permanecen casi totalmente encerrados en sus moldes de 12 a 24 horas, antes de ser desmoldeados. Los canales, las vigas T simples y dobles y los tableros en donde la colocación del concreto se efectúa horizontalmente reciben una exposición intermedia; a pesar de que estos productos permanecen en sus moldes, no se encierran o se cubren grandes áreas de su superficie. El curado de estos productos de concreto requiere de un cuidado considerable a fin de asegurar que no haya pérdidas de agua de la superficie durante todo el ciclo de curado.

No obstante que estos productos podrían ser curados a temperaturas normales, **la mayor parte de productos prefabricados se curan a temperaturas que varían entre los 52 y 85 grados centígrados, por períodos de 12 a 72 horas. Las unidades procesadas en el autoclave se curan a temperaturas superiores a 160 grados centígrados durante 5 a 36 horas. En el informe preparado por el comité ACI 516 y la norma ACI 517, se discuten las recomendaciones para los procedimientos de curado; respectivamente tratan del curado con vapor a alta presión y del curado con vapor a presión atmosférica.**

## 3.5. CONSTRUCCIONES ESPECIALES

### 3.5.1. CONSTRUCCION VERTICAL CON CIMBRAS DESLIZANTES

Las chimeneas, los silos, los elevadores y otras estructuras erigidas mediante los métodos de cimbrado vertical deslizante, deben curarse de acuerdo a los procedimientos usados para curar otras superficies verticales, reconociendo los problemas específicos de este tipo de construcción. Los muros para las construcciones con cimbras deslizantes, por ejemplo, reciben un curado corto inicial desde la cimbra. Tal vez no sea conveniente usar un compuesto de curado en la parte interior de ciertos silos, debido a la posible contaminación del material que se vaya a almacenar en ellos; también no resulta adecuado usarlo en la parte exterior, debido a las variaciones de color que pudieran resultar de la aplicación irregular del compuesto del curado. En climas fríos, la parte interior del silo puede calentarse fácilmente y encerrarse para mantener un índice de humedad elevado durante el curado. En algunos métodos de construcción, la parte interior del silo se ventila para evitar que el calor aumente excesivamente. En estos casos, la ventilación debe estar dispuesta de tal manera que las corrientes no lleguen a los muros, pues esto tendería a secar sus partes interiores en forma excesiva.

### **3.5.2 CONCRETO LANZADO**

Debido a que el concreto lanzado usualmente se aplica en secciones muy delgadas y a que sus superficies son ásperas, generalmente se recomienda conservarlas húmedas continuamente por lo menos durante 7 días. Resulta conveniente aplicar membranas de curado si las condiciones de secado no son severas y si no va aplicarse pintura o concreto lanzado adicional y la apariencia es aceptable. Debido a la superficie áspera, el compuesto líquido para formar membranas de curado debe aplicarse con mayor espesor que en las superficies de concreto ordinarias, es decir, a aproximadamente 2.4 m<sup>2</sup>/lt.

### **3.5.3 CONCRETO REFRACTARIO**

El concreto refractario que utiliza cemento Portland como cementante debe curarse de acuerdo con los procedimientos descritos anteriormente.

El concreto refractario que emplea cemento de aluminato de calcio como cementante debe curarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante del cemento empleado. Normalmente, para este tipo de concreto, el curado se completa 24 horas después del mezclado. El método de curado debe asegurar que el concreto nunca alcance una temperatura mayor de 21 grados centígrados. El curado más adecuado se realiza a base de riego o rocíos de agua sobre la superficie. También puede sustituirse por una membrana de curado adecuada. La aplicación del agua o compuesto de curado normalmente debe comenzarse tan pronto como la superficie no sufra daños durante la aplicación. El concreto no debe calentarse. Pueden usarse cubiertas de estopa, pero deben conservarse saturadas de agua y una temperatura que mantenga al concreto a menos de 21 grados centígrados.

### **3.5.4. PINTURA DE CEMENTO Y ACABADOS SUPERFICIALES**

Para humedecer la pintura de cemento o el acabado superficial, se puede usar el mismo dispositivo de riego o rocío empleado para humedecer las superficies de concreto. Este riego de agua debe ser aplicado entre capas, en donde se use más de una capa, y después dos o tres veces al día por lo menos durante los días siguientes a la aplicación completa de la pintura o el acabado superficial. La frecuencia requerida del humedecimiento depende de las condiciones climatológicas. El curado debe iniciarse tan pronto como la pintura o el acabado superficial hayan endurecido lo suficiente como para no sufrir daños por el rocío o riego; esto será aproximadamente 12 horas después de su aplicación. Debe evitarse aplicar agua en exceso, de manera que ésta no fluya sobre la superficie.

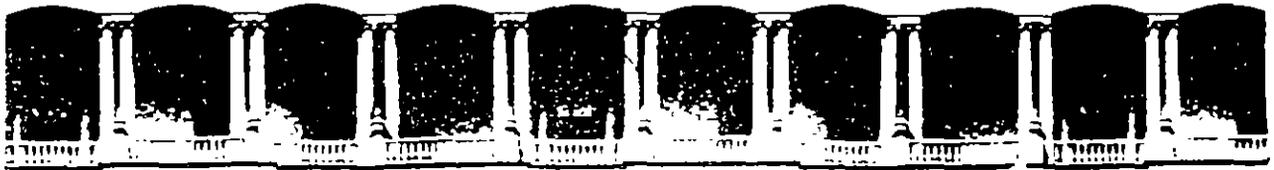
### **3.5.5 "CASCARONES"**

Los "cascarones" delgados son extraordinariamente susceptibles a sufrir agrietamientos por contracción cuando reciben un curado inadecuado. Si el clima es cálido, resulta aconsejable aplicar un curado preliminar por medio de riego de agua, seguido de un curado a base de mantas de estopa húmeda. Si el clima es frío, se requiere tomar precauciones especiales para proteger al concreto contra el congelamiento, ya sea con mantas protectoras o por medio de acelerantes del fraguado. En climas moderados (de 12 a 21 grados centígrados), normalmente los compuestos de curado resultan satisfactorios, aunque el curado húmedo podría producir mejores resultados.

### **3.5.6 CONCRETO AISLANTE**

Las superficies de concreto aislante, en donde se logra un peso unitario en seco de 800 kg/m<sup>3</sup> o menor por medio de agregados minerales de baja densidad y aire incluido, normalmente deben mantenerse húmedas por un período no menor de 3 días, siguiendo uno de los procedimientos adecuados descritos anteriormente. El concreto aislante debe entonces ventilarse hasta que seque, antes de la aplicación subsecuente de algún impermeabilizante u otro recubrimiento suplementario.

No es deseable realizar un curado por anegamiento o con demasiada agua, ya que el concreto podría absorber una cantidad de agua considerablemente mayor a la requerida para la hidratación del cemento.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**TEMA : COMPACTACION DEL CONCRETO**

**EXPOSITOR: ING. JUAN OSORIO PALMA  
1996**

C

C

# COMPACTACION DEL CONCRETO

ING. JUAN OSORIO PALMA

## 1. INTRODUCCION:

Desde el momento en que se fabrica el concreto, al combinarse todos los ingredientes, siempre se lleva a cabo una incorporación adicional de un elemento que nadie lo "llamó" y este es el aire, el cual es irremediamente atrapado en el seno de la revoltura; por lo tanto, y aunado a los procedimientos de vaciado y colocado del concreto fresco en la cimbra, este se reduce o aumenta.

Este aire al estar en la masa de concreto fresco tiene el aspecto de un "panal de abejas". Si se le permite endurecer en esta condición el concreto no será uniforme. Y por tanto débil, poroso y deficientemente adherido al acero de refuerzo. Su apariencia será defectuosa; por esta razón es importante que la revoltura se **densifique** si se desea que el concreto tenga propiedades normalmente deseadas.

Ahora bien, como ya sabemos que este aire es deletéreo el siguiente paso después del acomodo del concreto es el de expulsar este aire para lo cual hay diversos métodos y técnicas disponibles los cuales normalmente son por medio de vibración del concreto.

A esta acción de expulsar el aire es lo que se conoce con el nombre de **compactación** o también conocido como **Consolidación**; por lo tanto, podemos definirlo como la **operación mediante la cual el concreto ya colocado se somete a la acción de fuerzas que hacen de él una masa más homogénea y libre de cavidades.**

Para lograr la consolidación existen diversos métodos y técnicas disponibles. La elección depende de la trabajabilidad de la revoltura, de las **condiciones de colado y de la proporción de aire que se desee.**

En la actualidad existen métodos y equipos disponibles para una compactación rápida y eficiente del concreto, con un amplio margen para las condiciones del vaciado. Concreto con contenido de agua relativamente bajo, puede ser moldeado rápidamente en una variedad ilimitada de formas, haciendo un material de construcción altamente versátil y económico. Cuando las buenas prácticas de compactación se combinan con un buen trabajo de vaciado, las superficies de concreto tienen una apariencia bastante agradable.

## 2. EFECTO DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA EN LA COMPACTACION

### 2.1 Proporcionamiento de la mezcla

Las mezclas de concreto se proporcionan para dar la trabajabilidad necesaria durante la construcción, y para que el concreto endurecido logre alcanzar las propiedades requeridas.

### 2.2 Trabajabilidad y consistencia

La trabajabilidad es propiedad de la revoltura de concreto fresco que determina la facilidad con la cual puede manejarse, consolidarse y acabarse. Esto incluye factores tales como la fluidez, moldeabilidad, cohesividad y compactabilidad.

La trabajabilidad está afectada por la graduación, la forma de las partículas y las proporciones de los agregados, por el contenido de cemento, por los aditivos, si se usan, y por la consistencia de la revoltura.

La consistencia es la facultad de la revoltura de concreto fresco para fluir. Esta también determina ampliamente la facilidad con la cual el concreto puede ser consolidado. Una vez que los materiales y proporciones de la revoltura han sido seleccionados, el primer control sobre la trabajabilidad se hace mediante cambios en la consistencia efectuados con el cambio del contenido del agua.

El ensaye de revenimiento es ampliamente utilizado para determinar la consistencia de las revolturas que se usan en la construcción normal; para revolturas más rígidas generalmente se recomienda el ensaye Vebe.

En la tabla siguiente se muestran los valores de revenimiento y el tiempo Vebe para la serie completa de consistencia que se utilizan en la construcción.

Consistencia	Revenimiento cm.	Tiempo Vebe seg.
Extremadamente seca	————	18 a 32
Muy rígida	————	10 a 18
Rígida	0-2.5	5 a 10
Rígida plástica	2.5-5.0	3 a 5
Plástica	8.0-10.0	0 a 3
Fluido	13.0-18.0	————

### **2.3 Requisitos de trabajabilidad**

El concreto fresco deberá de ser suficientemente dócil para que los modernos equipos de compactación, adecuadamente empleados, le den una consolidación apropiada. Sin embargo cualquier exceso de trabajabilidad es indeseable porque tiende a aumentar el costo de la revoltura y puede hacer disminuir la calidad de concreto endurecido. Cuando el exceso de trabajabilidad es el resultado de una consistencia demasiado húmeda, la revoltura será también inestable y probablemente se segregará durante el proceso de consolidación.

Las revolturas que tienen revenimiento moderadamente alto, pequeño tamaño máximo de agregado, y exceso de arena son a menudo populares entre el personal de campo porque el exceso de trabajabilidad se traduce en menos esfuerzo para el colado. A menudo es necesaria cierta presión sobre el personal para que se utilicen revolturas de menor revenimiento o contenido de arena, o un tamaño máximo del agregado, para lograr un uso más eficiente del cemento.

Por otro lado, no es aconsejable utilizar revolturas que sean demasiado rígidas para las condiciones de colado ya que requerirán gran esfuerzo de compactación e incluso entonces pueden no estar consolidadas adecuadamente.

Es la trabajabilidad de la revoltura en la cimbra la que determinará los requisitos de consolidación. Esta puede ser considerablemente menor que en la revolvedora a causa de la pérdida de revenimiento debido a la alta temperatura, fraguado falso, retrasos y otras causas.

### **3. METODOS DE COMPACTACION**

Debe seleccionarse un método de consolidación que sea adecuado para la revoltura de concreto y las condiciones de colado: complejidad de la cimbra, cantidad de refuerzo, etc. Hay disponible una amplia variedad de métodos manuales y mecánicos.

#### **3.1 Métodos manuales**

A causa de la acción de la gravedad se obtiene un cierto grado de consolidación cuando se cuela el concreto en la cimbra. Esto es particularmente cierto para mezclas fluidas en las que es necesaria muy poca compactación adicional (como un varillado ligero). Sin embargo, la calidad mecánica de dicho concreto es bastante baja debido a su alto contenido de agua, lo cual lo hace impráctico para ser utilizado en la mayoría de las construcciones.

Las revolturas plásticas pueden consolidarse con un varillado (empujando una varilla consolidadora u otra herramienta adecuada en el concreto), o por medio de un apisonado. El paleado es algunas veces empleado para mejorar las superficies en contacto con las cimbras; una herramienta plana en forma de pala es repetidamente metida y sacada en el lugar adyacente a la cimbra. Esto obliga a las partículas gruesas a alejarse de la cimbra y ayuda a las burbujas de aire en su ascenso hacia la superficie superior. Aunque es una operación laboriosa, el resultado vale la pena algunas veces.

El compactado a mano puede utilizarse para consolidar revolturas rígidas. El concreto se coloca en capas delgadas y cada capa es cuidadosamente apisonada y compactada. Este es un método efectivo de consolidación, pero laborioso y costoso.

#### **3.2 Métodos mecánicos**

El método de consolidación más ampliamente usado hoy en día es el de vibración. Esta se adapta especialmente a las consistencias más rígidas que van asociadas al concreto de alta calidad. La vibración pueden ser interna o externa. Los compactadores de potencia pueden utilizarse para compactar concreto rígido en unidades precolados. Además del efecto de apisonado o compactado, hay una "vibración": de baja frecuencia que ayuda a la consolidación.

Barras apisonadoras operadas mecánicamente son adecuadas para consolidar revolturas rígidas en algunos productos precolados, incluyendo los bloques de concreto.

Un equipo que aplique altas presiones estáticas en la superficie superior puede utilizarse para consolidar losas delgadas de concreto de consistencia plástica o fluida. Aquí el concreto es prácticamente exprimido en la cimbra, expulsando el aire atrapado y parte del agua de la revoltura.

La fuerza centrífuga es capaz de consolidar desde un concreto de revenimiento moderado a uno alto, en la fabricación de tuberías de concreto, postes, pilotes y otras secciones huecas.

Muchos vibradores de superficie están disponibles para la construcción de losas incluyendo reglas vibratorias, rodillos vibratorios, apisonadores vibratorios de placa o enrejado y herramientas vibratorias para acabado.

Las mesas de impacto (utilizadas en el proceso Schokbeton), algunas veces llamadas mesas de golpeteo, son adecuadas para consolidar concreto de bajo revenimiento. El concreto se deposita en capas delgadas en moldes resistentes. Tan pronto como se llena en molde, se levanta alternativamente una corta distancia y se deja caer en una base sólida. Siendo que el molde y el concreto son repentinamente detenidos en caída libre, el impacto origina que el concreto se "compacte" en una masa densa. Las frecuencias varían en el rango de 150 a 250 golpes por minuto, y la caída libre es de 0.3 a 1.3 cm. (1/8" a 1/2").

El proceso de vacío es un método que mejora la calidad del concreto cerca de su superficie y consiste en quitar parte del agua de la revoltura después que el concreto ha sido colado; sin embargo, esto implica en alguna reconsolidación. Su principal aplicación está en la construcción de losas. En este caso, se aplican unas lonas a la superficie, después que se ha terminado la consolidación normal, y se conectan a las bombas de vacío. La succión ejercida por las bombas y la presión atmosférica del aire (una fuerza de consolidación), actúan simultáneamente en las lonas removiendo el agua y el aire atrapado en la región cercana a la superficie, cerrando los espacios ocupados previamente por el agua.

### **3.3 Métodos combinados**

Bajo ciertas condiciones una combinación de dos o más métodos de consolidación da los mejores resultados.

La vibración interna y externa puede a menudo combinarse ventajosamente en los precolados y ocasionalmente en concreto colado en el lugar. En algunos casos se pueden utilizar vibradores de cimbra para consolidación rutinaria y vibradores internos en puntos críticos tales como en secciones altamente reforzadas en donde se tienden a crear vacíos y una mala

adherencia entre el concreto y el refuerzo. Inversamente, en secciones donde la consolidación principal se hace con vibradores internos, la vibración de la cimbra puede aplicarse también para alcanzar la apariencia deseada en la superficie.

La vibración puede aplicarse simultáneamente a la cimbra y a la superficie expuesta. Este procedimiento se usa frecuentemente en la fabricación de unidades precoladas que utilizan mesas vibratorias. Mientras que el molde es vibrado, una placa o rejilla vibratoria aplicada a la superficie expuesta ejerce un impulso vibratorio y una presión adicionales.

La vibración del molde es algunas veces combinada con presión estática aplicada a la superficie expuesta. Esta "vibración bajo presión" es particularmente útil en muchas máquinas para fabricar bloques de concreto, donde las revolturas muy rígidas no responden favorablemente a la vibración sola.

Centrifugado (girado), vibración y rolado se combinan frecuentemente en la producción de tuberías de concreto de alta calidad y otras secciones huecas.

## 4. COMPACTACION DEL CONCRETO MEDIANTE VIBRACION

En términos simples, la vibración consiste en someter el concreto fresco a rápidos impulsos vibratorios los cuales "licúan" el mortero, y reducen drásticamente la fricción interna entre las partículas de agregado. Mientras se encuentra en esta condición, el concreto se asienta por la acción de la gravedad (algunas veces auxiliado por otras fuerzas). Cuando se detiene la vibración, la fricción se restablece.

### 4.1 Movimiento vibratorio

Un vibrador para concreto tiene un rápido movimiento oscilatorio el cual se transmite al concreto fresco. El movimiento oscilatorio está descrito básicamente en términos de frecuencia (número de oscilaciones o ciclos por unidad de tiempo), y amplitud (desviación del punto de reposo).

Los vibradores rotatorios siguen una trayectoria orbital que generalmente se alcanza al rotar un peso desbalanceado o excéntrico dentro de la caja del vibrador. La oscilación en este caso es un movimiento armónico simple. La aceleración, una medida de intensidad de la vibración, puede ser calculada de la frecuencia y de la amplitud, cuando éstas se conocen. Se expresa generalmente en  $g$ 's que es la relación entre la aceleración de la vibración y la aceleración de la gravedad. La aceleración es un parámetro útil para la vibración externa pero no lo es para la vibración interna donde la amplitud en el concreto no es realmente susceptible de medirse.

Para vibradores distintos de los del tipo rotatorio, como por ejemplo en los vibradores de acción vertical, los principios del movimiento armónico no se aplican. Sin embargo, los conceptos básicos aquí descritos son aún de utilidad.

### 4.2 Proceso de compactación

Cuando el concreto de bajo revenimiento se coloca en la cimbra queda en forma de panal de abeja, consistente en partículas de agregado grueso recubierta de mortero y bolsas de aire atrapado distribuidas irregularmente. El volumen de este aire atrapado depende de la trabajabilidad de la revoltura, tamaño y forma de la cimbra, cantidad de acero de refuerzo y método de vaciado del concreto. Su valor alcanza de un 5 a un 20%. La finalidad de la compactación es eliminar la totalidad de este aire atrapado.

Para entender el fenómeno de la consolidación por vibración, nos ayuda el considerarlo en dos etapas: la primera que comprende el principal desplome o "revenido" del concreto, y la segunda una deaeración (eliminación de la burbujas de aire atrapado). De hecho las dos etapas pueden ocurrir simultáneamente, con la segunda etapa ocurriendo cerca del

vibrador antes de que la primera etapa se haya completado a mayores distancias.

Cuando se inicia la vibración, los impulsos originan movimientos muy rápidos y desorganizados de las partículas de la revoltura dentro del radio de influencia del vibrador. El mortero se licúa momentáneamente. La fricción interna que permitía al concreto sostenerse por sí mismo en su condición inicial de panal de abeja, se reduce drásticamente. La revoltura se vuelve inestable y busca un nivel inferior y a la vez una condición más densa, el concreto fluye lateralmente contra la cimbra y alrededor del acero de refuerzo.

Al concluirse la primera etapa, el panal de abeja ha sido eliminado; los grandes huecos entre el agregado grueso quedan ahora llenos de mortero. El concreto se comporta como un líquido que contiene partículas de agregado grueso suspendidas. Sin embargo, el mortero contiene aún muchas burbujas de aire atrapado, alcanzando quizás un tamaño de 2.5 cm. de diámetro que representa un cierto porcentaje del volumen de concreto. No es deseable dejar esto huecos en el concreto por tener efecto adverso en la resistencia (cada uno por ciento de aire reduce la resistencia en cerca de 5 por ciento), y en otras propiedades del concreto que dependen de la densidad, y también de la apariencia de las superficies cuando esto es de importancia.

Después que la consolidación ha alcanzado un punto en donde el agregado grueso se mantiene en suspensión en el mortero, la agitación adicional de la revoltura por vibración origina que las burbujas de aire atrapadas se eleven a la superficie. Las grandes burbujas de aire son más fácilmente eliminadas que las pequeñas debido a su mayor flotación. También aquéllas cercanas al vibrador se eliminan antes que aquéllas situadas en los límites del radio de acción.

La vibración debería continuarse hasta que suficientes burbujas de aire se hayan escapado y el concreto haya alcanzado una densidad consistente con la resistencia y otros requisitos de la revoltura. Eliminar la totalidad del aire atrapado no es usualmente factible lograrlo con equipo normal de vibrado.

## **5. EQUIPO PARA EL VIBRADO**

Los vibradores para concreto pueden dividirse en dos clases principales -internos y externos. Los vibradores externos pueden además dividirse en vibradores de cimbra, vibradores de superficie y mesas vibratorias.

### **5.1 Vibradores internos**

Los vibradores internos, llamados a menudo vibradores de corto alcance o hurgadores, tienen una cabeza o caja vibradora. La cabeza se sumerge y actúa directamente contra el concreto. En la mayoría de los casos para evitar el sobre-calentamiento los vibradores internos dependen del efecto de enfriamiento del concreto que los rodea.

Todos los vibradores internos actualmente en uso del tipo rotatorio. Los impulsos vibratorios emanan en ángulo recto de la cabeza del vibrador.

#### **5.1.1 Tipo de eje flexible**

Este tipo de vibrador es probablemente el de mayor uso. Comúnmente el excéntrico está accionado por un motor eléctrico o de aire, o por una máquina portátil de gasolina.

El vibrador accionado por motor eléctrico, una flecha flexible va del motor eléctrico a la cabeza del vibrador en donde hace girar el peso del excéntrico. Generalmente, el motor es universal de 110 volts (ocasionalmente 220), monofásico, 60 ciclos por seg. La frecuencia de este tipo de vibrador es bastante alta cuando opera libre, generalmente del orden de 12 000 a 17 000 vibraciones por minuto (200 a 280 hz.) (los valores altos son para los de cabeza más pequeñas). Sin embargo, cuando operan dentro del concreto la frecuencia por lo general se reduce en una quinta parte.

Para los del tipo accionado por motor de gasolina, la velocidad del motor es usualmente de cerca de 3 600 ciclos por minuto (60 ciclos por seg.). Se utiliza una transmisión de banda (V) o de engranes para aumentar esta velocidad hasta un nivel de frecuencia conveniente. De nuevo una flecha flexible va a la cabeza del vibrador. A pesar de que son más grandes y voluminosas que los eléctricos, son muy útiles cuando se carece de energía eléctrica comercial.

Para la mayoría de los vibradores de flecha flexible, la frecuencia es la misma que la velocidad de la flecha. Sin embargo, el rodillo (el vibrador) tipo péndulo cónico, es capaz de alcanzar una alta frecuencia vibratoria con velocidades modestas en el motor y en la flecha flexible. En este caso las velocidades del motor son de cerca de 3600 ciclos por minuto (60 ciclos por seg). En este caso se utiliza un motor de inducción o motor del tipo jaula de

ardilla de tres fases. La baja velocidad de la flecha flexible es favorable desde el punto de vista de mantenimiento.

### **5.1.2 Tipo de "motor eléctrico en la cabeza"**

Los vibradores del tipo de "motor eléctrico en la cabeza" han aumentado de popularidad en los últimos años. Puesto que el motor está en la cabeza del vibrador, no existe el problema de manejar separadamente el motor y el accionador flexible. Un robusto cable eléctrico, que también sirve como agarradera, entra en la cabeza vibratoria. Puesto que es difícil reducir las partes más allá de cierto tamaño, los vibradores de motor eléctrico en la cabeza son generalmente de por lo menos 5 cm. (2 pulgadas) de diámetro. Este vibrador se fabrica en dos diseños. Uno utiliza un motor universal y el otro utiliza uno trifásico de 180 ciclos por seg. (llamado de "Alto Ciclaje"). Para este último, la corriente se proporciona usualmente con un generador de motor de gasolina portátil. Sin embargo, en su lugar puede utilizarse la energía comercial haciéndola pasar por un convertidor de frecuencia. Este diseño de vibrador utiliza un motor de inducción, el cual no sufre sino una ligera disminución de velocidad al sumergirse en el concreto y puede hacer girar una masa excéntrica más pesada y por lo tanto desarrolla una fuerza centrífuga mayor que la desarrollada por los del tipo motor universal en la cabeza, del mismo diámetro.

### **5.1.3 vibradores de aire**

Los vibradores de aire son accionados por aire comprimido, y el motor de aire se halla generalmente dentro de la cabeza del vibrador. El del tipo de aspa ha sido el más común, con el motor y el elemento excéntrico sostenidos por baleros. Hay también modelos sin baleros que requieren generalmente menos mantenimiento. Existen además algunos modelos con flecha flexible operados por aire, en los cuales el motor de aire se halla fuera de la cabeza. Se recomiendan los vibradores de aire, cuando el aire comprimido es la fuente de energía más fácilmente disponible. La frecuencia depende en gran parte de la presión del aire. Por lo tanto, la presión del aire deberá mantenerse siempre al nivel adecuado (recomendado por el fabricante). En algunos casos es deseable variar la presión del aire para obtener frecuencias diferentes.

### **5.1.4 Selección de un vibrador interno para la obra**

El principal requisito para un vibrador interno es su efectividad para consolidar el concreto. Deberá tener un radio de acción adecuado y deberá lograr una "licuefacción profunda", así como de aerear el concreto.

El radio de acción, y por tanto el espaciamiento de las inserciones, depende no solamente de las particularidades del vibrador, sino de la trabajabilidad de la revoltura.

La tabla 1, da las distintas características, comportamiento y aplicaciones de los vibradores internos. (Algunos vibradores para fines especiales quedan fuera de estos rangos). Se recomienda determinadas

frecuencias lo mismo que ciertos valores para el momento excéntrico, amplitud promedio y fuerza centrífuga.

Se proporciona también rangos aproximados para el radio de acción y velocidad del vaciado del concreto. Estos son valores empíricos fundados principalmente en experiencia previa.

Pueden obtenerse resultados igualmente buenos al elegir un vibrador del mayor grupo siguiente, y prever los ajustes convenientes en el espaciamiento y tiempo de las inserciones.

Estos valores no deben considerarse como una garantía de comportamiento bajo todas las condiciones. La mejor medida del comportamiento de un vibrador es su efectividad para consolidar el concreto en la obra.

### **5.1.5 Formas especiales de cabezas de vibradores**

Las recomendaciones de la tabla 1 son para vibradores redondos. Otras formas de cabezas vibratorias (cuadradas o alguna otra forma poligonal, acanalada, con aspas, etc.) tienen un área superficial diferente y distribución también diferente de la fuerza entre el vibrador y el concreto. El efecto de la forma en el comportamiento del vibrador no ha sido exactamente evaluado. Para los fines de esta práctica se recomienda que el diámetro equivalente de un vibrador de forma especial se considere como el vibrador redondo con el mismo perímetro.

### **5.1.6 Información que debe ser proporcionada por el fabricante.**

El catálogo del fabricante del vibrador deberá incluir las dimensiones físicas (longitud y diámetro), peso total de la cabeza del vibrador, momento excéntrico, frecuencia en el aire, frecuencia aproximada dentro del concreto, y la fuerza centrífuga en estas dos frecuencias.

El catálogo deberá incluir también otros datos necesarios para la conexión y operación de los vibradores. Para vibradores eléctricos deberá proporcionarse los requisitos de voltaje, amperaje y calibre de cable conductor (de acuerdo con la longitud necesaria). Para vibradores de aire deberán fijarse los requisitos de aire comprimido en Kg/cm<sup>2</sup> (lbs/pulg<sup>2</sup>) y m<sup>3</sup>/min. (pies<sup>3</sup>/min), lo mismo que las dimensiones de las tuberías o mangueras (también de acuerdo con la longitud requerida).

Para unidades accionadas por motor de gasolina deberá proporcionarse la velocidad.

## **5.2 Vibradores de cimbra**

### **5.2.1 Descripción general**

Los vibradores de cimbra son vibradores externos que se sujetan a la parte exterior de la cimbra o molde. Éstos vibran la cimbra, la cual a su vez transmite la vibración al concreto.

Los vibradores de cimbra son de auto-enfriamiento. Pueden ser rotatorios o de acción vertical.

### **5.2.2 Tipos de vibradores para cimbra**

#### **5.2.2.1 Tipo rotatorio**

Este tipo pueden ser accionados ya sea neumática o eléctricamente. En el primero, la fuerza centrífuga se desarrolla por un cilindro giratorio o por una esfera de acero que gira en una ranura de acero dentro de la caja; estos vibradores generalmente trabajan a frecuencias de 6 000 a 12 000 vibraciones por min. (100 a 200 Hz). Puede tomarse medidas para cambiar la frecuencia y amplitud del cilindro giratorio tipo neumático.

El tipo accionado por electricidad tiene un excéntrico ajustable sujetado a cada extremo de la flecha del motor la cual gira (generalmente por un motor del tipo de inducción) a una velocidad de cerca de 3 600 r.p.m. (60 ciclos por seg) (3 000 r.p.m. para corriente de 50 ciclos por seg). Pueden obtenerse mayores frecuencias mediante el uso de convertidores de frecuencia.

Los vibradores de cimbra del tipo rotatorio, producen esencialmente un movimiento armónico simple, como en el caso de los vibradores internos. Los impulsos tienen componentes tanto perpendiculares a la cimbra como en la dirección de ésta.

El catálogo del fabricante deberá indicar la fuerza centrífuga y la frecuencia aproximada bajo cargas correspondientes.

#### **5.2.2.2 Vibrador de acción vertical**

En este tipo de vibrador, primero se acelera un pistón en una dirección, siendo detenido (por impacto contra una placa de acero), y luego se acelera en dirección opuesta. Este tipo es de acción neumática.

Las frecuencias se hallan generalmente dentro de un límite de variación de 1000 a 5000 ciclos por min. (20 a 80 Hz.).

Estos vibradores producen impulsos que actúan perpendicularmente sobre la cimbra. Los principios de movimiento armónico simple no son aplicables en este caso.

### 5.2.2.3 Otros tipos

Otros tipos de vibradores de cimbra, menos comunes, incluyen los siguientes:

a) El tipo electromagnético, el cual por lo general produce ondas que varían entre la línea sinusoidal y la dentada.

b) Martinetes neumáticos manuales o eléctricos, los cuales algunas veces se utilizan como auxiliares en la consolidación de unidades pequeñas de concreto.

### 5.2.3 Selección de vibradores externos para cimbras verticales

Los vibradores de baja frecuencia y gran amplitud son normalmente preferidos para las revolturas secas. La vibración de alta frecuencia y corta amplitud generalmente produce mejor consolidación y mejores superficies para consistencias más plásticas. Sin embargo, se presentan muchos casos de vibraciones con éxito sin haber seguido esta regla. Quizás esto pueda explicarse, en parte, por la distinta manera en que responden a la vibración cimbras diferentes.

La efectividad del vibrado en una cimbra depende principalmente de la aceleración que la cimbra pueda impartir al concreto, siempre que la amplitud de la cimbra sea adecuada más de 0.005 cm. (0.002 pulg) para revolturas rígidas y por encima de 0.0025 cm. (0.001 pulg) para revolturas plásticas.

La aceleración de la cimbra es función de la fuerza centrífuga de los vibradores en relación con el peso de la cimbra y del concreto activado.

Las siguientes fórmulas empíricas han sido utilizadas para estimar la fuerza centrífuga necesaria de los vibradores de cimbras para dar una consolidación adecuada.

1. Para revolturas plásticas, en cimbras para vigas y muros: Fuerza Centrífuga=0.5 [(peso de la cimbra)+0.2 (peso del concreto)]

2. Para revolturas rígidas en tuberías y otras formas rígidas: Fuerza Centrífuga=1.5 [(peso de la cimbra)+0.2 (peso del concreto)]

Cualquier fórmula utilizada deberá comprobarse con la experiencia en la obra. Se recomienda que el usuario se ponga en contacto con el fabricante del vibrador y solicite las indicaciones necesarias en cuanto a tamaño, cantidad y localización de los vibradores para lo cual deberá proporcionarle a éste los dibujos de la estructura por vibrar. La distancia adecuada entre los dos vibradores de cimbra está dentro del límite de 1.5 a 2.5 m. (5 a 8 pies). Es conveniente comprobar la frecuencia y la amplitud de los vibradores en diferentes puntos de la cimbra, mediante el uso de un vibrógrafo u otro aparato adecuado. De estos valores se puede calcular la aceleración actuante. Las

aceleraciones convenientes para vibradores de cimbra se halla dentro del límite de 1 a 5 g's de acuerdo principalmente con la consistencia de la revoltura.

### **5.3 Mesas vibratorias**

Una mesa vibratoria consiste normalmente en una mesa de acero o de concreto forzado con vibradores externos firmemente montados en el marco que la soporta. La mesa y el marco están aislados de la base por resortes de acero, empaques aislantes de neopreno u otros medios.

La mesa en sí puede ser una parte del molde. Sin embargo y por lo común, un molde separado descansa en la parte superior de la mesa. La vibración se transmite de la mesa al molde y de éste al concreto.

Hay opiniones diversas sobre la conveniencia de sujetar el molde a la mesa.

La vibración que normalmente se prefiere, al menos para mezclas duras, es la de baja frecuencia y gran amplitud (inferior a 6 000 vibraciones frecuencia /min (100 Hz.); amplitud superior a 0.0013 cm (0.005")).

Como en el caso de vibradores de cimbra, la eficiencia de la mesa vibratoria depende principalmente de la aceleración impartida por la mesa al concreto, siempre que la amplitud sea la adecuada. Normalmente se prefiere una aceleración, dentro del límite de 3 a 10 g. El valor depende principalmente de la consistencia de la revoltura.

Como en el caso citado, la aceleración de la mesa es una función de la fuerza vibratoria que está relacionada con el peso de la cimbra y del concreto activado. Las siguientes fórmulas empíricas han sido útiles para estimar la fuerza centrífuga requerida por los vibradores .

1. Mesa vibratoria rígida o viga vibratoria, con moldes colocados sueltos sobre la mesa.

Fuerza centrífuga =(2 a 4) [(peso de la mesa)+0.2 (peso del molde)+0.2(peso del concreto)].

2. Mesa vibratoria rígida, con el molde sujeto a la mesa.

Fuerza centrífuga=(2 a 4)[(peso de la mesa)+(peso del molde)+0.2 (peso del concreto)].

3. Mesa vibratoria flexible, continua sobre varios soportes.

Fuerza centrífuga=(0.5 a 1) [(peso de la mesa)+0.2 (peso del concreto)].

La elección de los vibradores y su espaciamiento inicial deberá fundarse en las fórmulas anteriores y en la experiencia previa. Como en el caso de los vibradores de cimbras, es aconsejable comprobar la amplitud y la frecuencia en varios puntos de la mesa, mediante el vibrógrafo u otro aparato

adecuado y entonces calcular la aceleración. Los vibradores pueden moverse alrededor de la mesa hasta eliminarse todos los puntos muertos para lograr una vibración lo más uniforme posible.

Cuando se vibran secciones de concretos de diferentes dimensiones, la mesa deberá tener amplitud variable. La frecuencia variable es una ventaja adicional.

Si la mesa vibratoria está equipada con un elemento vibratorio que contenga solamente un excéntrico, puede aparecer un movimiento circular vibratorio el cual imparte rotación nociva al concreto. Esto puede evitarse con instalar dos vibradores uno junto al otro, de tal manea que sus flechas giren en direcciones opuestas. Esto neutraliza la componente horizontal de vibración, de manera que la mesa queda sujeta a un movimiento armónico simple en dirección vertical solamente. En esta forma pueden obtenerse muy altas amplitudes.

Para alcanzar una buena consolidación en revolturas muy secas, a menudo es necesario aplicar presión en la superficie superior simultáneamente con la vibración.

#### **5.4 Vibradores de superficie**

Los vibradores de superficie ejercen sus efectos en la superficie y consolidan al concreto de arriba hacia abajo, además de su efecto nivelador, el cual contribuye al acabado. Se utilizan principalmente en la construcción de losas.

Hay cuatro tipos principales de vibradores de superficie:

a) *Regla vibratoria.* Esta consiste en una viga doble o sencilla o un tablón suficientemente largo que cubra el ancho de la losa. Uno o más excéntricos, dependiendo de la longitud de la regla se fijan en la parte superior. Los excéntricos son operados por un pequeño motor de gasolina, o por vibradores de cimbra eléctricos o neumáticos. La viga se sostiene de la arista de la cimbra o sobre rieles especiales. Esto controla la elevación de la regla de tal forma que actúa no solamente como un compactador sino también proporciona el acabado final. Comúnmente las reglas vibratorias son accionadas a mano en obras pequeñas y por medio de motores en obras grandes.

La vibración producida por las oscilaciones de la viga se transmiten al concreto en la vecindad del elemento vibrante. Para las consistencias rígidas en especial, se necesita de una gran amplitud para alcanzar una profundidad de compactación considerable. Se han hallado como más satisfactorias las frecuencias dentro del límite de 3 000 a 6 000 vibraciones por min. (50 a 100 Hz.). Las reglas vibratorias generalmente trabajan mejor con aceleraciones de cerca de 5 g. La investigación ha demostrado que la compactación es

**proporcional al producto de la fuerza por la amplitud por la frecuencia dividido entre la velocidad del avance del equipo.**

b) *Vibrador del tipo de bandeja.* Esta unidad consiste de una bandeja horizontal (o serie de bandejas) que se extiende a todo lo ancho de la losa. Descansa completamente en la losa sin llegar a tocar la cimbra, y por consiguiente no puede proporcionar un acabado final. La bandeja opera por medio de excéntricos eléctricos o mecánicos.

La frecuencia , amplitud y la mayoría de las otras características son bastante similares a las de la regla vibratoria.

c) *Compactadores de placa o de rejilla.* Estos consisten de una pequeña placa vibratoria o rejilla aproximadamente 0.2m<sup>2</sup> (cerca de dos pies cuadrados) de área que se mueve sobre la superficie de la losa.

Estos vibradores trabajan mejor sobre concreto con algo de consistencia rígida.

d) *Vibradores de rodillos.* Esta unidad golpea a la vez que consolida. Un modelo consta de tres rodillos. El del frente actúa como excéntrico y es un rodillo vibratorio que gira de 100 a 400 revoluciones por min. (2 a 7 revoluciones por seg) (regulado de acuerdo con la consistencia de la revoltura) en la dirección opuesta a la dirección del movimiento. Baja el concreto, lo allana y proporciona vibración moderada. Este equipo es adecuada para revolturas plásticas.

También hay disponibles vibradores, flotadores o allanadores manuales. Pequeños aparatos vibradores, accionados por electricidad o aire, se ajustan a herramientas comunes para hacer más fácil el acabado.

## 6. PRACTICAS RECOMENDABLES PARA EL VIBRADO EN LA CONSTRUCCIÓN EN GENERAL

Después que el equipo adecuado ha sido elegido, deberán utilizarse los servicios de operarios responsables y bien entrenados, capaces de mantener constantes el espaciamiento y el tiempo del vibrador adecuados, que sepan cuándo el concreto está ya consolidado.

Generalmente el vibrado interno se adapta mejor a la construcción común y corriente, siempre y cuando la sección sea suficientemente grande para manipular con el vibrador. Sin embargo, la vibración externa puede ser necesaria para sustituir al vibrado interno en áreas congestionadas con refuerzo o en lugares inaccesibles. En muchas secciones delgadas, especialmente en trabajos precolados y en losas, la vibración externa deberá constituir el principal método de consolidación.

### 6.1 Procedimientos para vibrado interno

El concreto deberá depositarse normalmente en capas de 30 a 45 cm (12 a 18 pulg) de espesor (esto dependerá de la cabeza del vibrador y de otros factores). Las capas deberán de estar niveladas tanto como sea posible, de manera que el vibrador no necesite mover el concreto lateralmente, puesto que ello puede causar segregación. Pueden lograrse superficies más o menos niveladas si se coloca el concreto en la cimbra a intervalos cortos; con frecuencia el uso de trompas de elefante representan una ayuda.

Aunque el concreto haya sido colocado cuidadosamente en la cimbra, hay la probabilidad de que aparezcan algunos pequeños terrones o puntos elevados. Para mezclarlos con la revoltura basta un ligero vibrado en el centro de estos puntos.

Después de que se ha logrado una superficie bien nivelada, el vibrador deberá introducirse verticalmente a espacios uniformes sobre el área total del colado. Generalmente la distancia entre las inmersiones podrá ser de 1 1/2 veces el radio de acción, siempre que el área visible afectada por el vibrador se empalme en alguno centímetros con el área adyacente previamente vibrada. (En losas el vibrador puede inclinarse hacia la horizontal lo necesario para que opere en una posición completamente sumergida). El vibrador no deberá introducirse a manos de 60 cm. (2 pies) de cualquier extremo no confinado.

El vibrador deberá penetrar rápidamente hasta el fondo de la capa, y cuando menos 15 cm. (6 pulg) dentro de la capa precedente si tal capa existe. Deberá mantenerse estacionario (generalmente de 5 a 15 seg) hasta que la consolidación se considere adecuada. Entonces el vibrador deberá retirarse lentamente, a una velocidad de cerca de 8 cm. (3 pulg) por seg. El concreto

deberá regresar, llenando el espacio dejado por el vibrador. Para revolturas secas donde el hueco no se cierra durante la extracción, el problema se resuelve algunas veces introduciendo de nuevo el vibrador algunos centímetros fuera del hueco; si esto no es efectivo la revoltura o el vibrador deberán cambiarse.

Cuando el colado consta de varias capas, cada capa deberá vaciarse en tanto que la capa precedente esté aún plástica con el fin de evitar juntas frías. Si la capa inmediata inferior se ha endurecido más allá del límite en que puede penetrar el vibrador, aún podrá obtenerse la incorporación mediante vibrado total y sistemático del concreto nuevo, en contacto con el viejo. Sin embargo, una inevitable junta aparecerá en la superficie, al retirar la cimbra.

## **6.2 Apreciación sobre la eficacia de la vibración interna**

En la actualidad no existe un indicador rápido y seguro para determinar cuándo se ha logrado una buena consolidación. La eficacia de un vibrado interno en la obra se juzga principalmente por la apariencia de la superficie de cada capa. Los principales indicadores de un concreto bien consolidado son:

1. Incorporación del agregado mayor, nivelación general de la revoltura, mezclado claro del perímetro de la revoltura con el concreto colado previamente, una película delgada de mortero brillante en la superficie, y pasta de cemento observable en la unión de la cimbra y el concreto.
2. Cese general de la aparición en la superficie de grandes burbujas de aire atrapado. Las capas más gruesas requieren más tiempo de vibrado que las delgadas porque las burbujas más profundas requieren más tiempo para llegar a la superficie.

Algunas veces el zumbido del vibrador es una guía que ayuda. Cuando un vibrador de inmersión se sumerge en el concreto hay usualmente una baja de frecuencia, luego una elevación de la misma, y finalmente el zumbido llega a ser constante, cuando el concreto queda libre de aire atrapado. Un operador experimentado también aprende a "sentir" por medio del vibrador cuándo la consolidación se ha completado.

Algunos operarios tienen la tendencia únicamente de aplanar la revoltura con el vibrador. Pero la consolidación completa se logra cuando se ha seguido y logrado todas las indicaciones necesarias para un vibrado adecuado.

## **6.3 Vibrado del refuerzo**

Cuando el concreto no puede ser alcanzado por el vibrador, como en el caso de áreas congestionadas de refuerzo, es conveniente vibrar las partes expuestas de las varillas de refuerzo. Algunos ingenieros atribuyen un posible detrimento de la adherencia del concreto con el acero a la vibración

transmitida a través del refuerzo al concreto que se halla en las capas inferiores y que ha fraguado parcialmente.

Sin embargo, un examen cuidadoso del concreto endurecido, consolidado de esta manera, ha demostrado que no hay base para tales temores.

Bajo el supuesto de que el concreto se halle aún en estado móvil, este vibrado puede aumentar la adherencia entre el acero y el concreto, mediante la eliminación del aire atrapado y del agua de la parte inferior de las varillas de refuerzo.

Para esta finalidad puede utilizarse un vibrador de cimbra, sujeto a la varilla con un accesorio adecuado.

El vibrador de inmersión no debe sujetarse a una varilla de refuerzo, por que se puede dañar.

#### **6.4 Revibrado**

El revibrado es el proceso de volver a vibrar el concreto que ha sido vibrado anteriormente. De hecho la mayoría del concreto se revibra sin intención cuando al colar capas sucesivas de concreto, el vibrador se introduce más abajo dentro de la capa subyacente (la cual fue vibrada antes). Sin embargo, el término "revibración", como se usa aquí, se refiere a una revibración sistemática e intencional realizada poco tiempo después de que el colado se ha concluido.

El revibrado puede realizarse siempre que el vibrador en función penetre por su propio peso en el concreto, y lo licúe momentáneamente. Dará mejor resultado si esto se hace lo más tarde posible.

Generalmente el revibrado da como resultado una mejor resistencia a la compresión y adherencia, expulsa el agua atrapada bajo las varillas horizontales, reduce las fugas que se producen bajo los tornillos de la cimbra y elimina el aire atrapado. Se obtienen mayores beneficios para las revolturas más humedad de concreto.

El revibrado produce efectos más positivos dentro de los 50 a 100 cm superiores del vaciado, donde abundan el aire y los huecos de agua. Sin embargo, es conveniente revibrar a mayor profundidad. Es especialmente aconsejable cuando las cimbras han sufrido alguna deformación durante el vaciado.

#### **6.5 Vibrado de las cimbras**

La dimensión y el espaciamiento de los vibradores de cimbra deberán ser tales que la intensidad de vibración apropiada se distribuya correctamente sobre el área deseada. El grado de espaciamiento del vibrador depende del

tipo y forma de la cimbra, de la profundidad y espesor del concreto, potencia del vibrador, manejabilidad de la revoltura y tiempo de vibrado. Los conocimientos actuales son insuficientes para poder dar una solución exacta a este difícil problema. Al iniciar un trabajo generalmente se recomienda empezar con un espaciamiento entre 1.2 y 2.4 m. Si esta distribución de los vibradores no produce una vibración satisfactoria, éstos deberán situarse de manera tal que se obtenía el resultado deseado. para lograr una buena distribución de los vibradores es menester conocer la frecuencia y radio de acción de los vibradores sobre la cimbra, así como la manejabilidad y compactabilidad de la mezcla.

La frecuencia puede determinarse rápidamente por un tacómetro. Sin embargo en el pasado, las pequeñas amplitudes asociadas con la vibración de la cimbra han sido difíciles de medir. Amplitudes inadecuadas significan insuficiente consolidación, mientras que amplitudes excesivas locales no son solamente desperdicio de fuerza vibratoria, sino que pueden en algunos casos originar que el concreto se "revuelva" y no se consolide adecuadamente.

Pasando la mano sobre la cimbra se puede localizar áreas de vibración fuerte o débil (mayor o menor amplitud) o "puntos muertos". El tacómetro puede proporcionar una información ligeramente más segura; la diferencia en oscilación de la lengüeta del tacómetro en distintos puntos da una burda indicación de la diferencia en amplitud.

Actualmente ya se dispone de vibrógrafos. Es factible obtener indicaciones de la amplitud en distintas zonas de cimbras vibradas exteriormente. Por lo general dichos vibrógrafos proporcionan también la frecuencia y la forma de onda vibratoria.

El concreto compactado por vibración de la cimbra deberá colarse en capas, usualmente de 25 a 40 cm. (10 a 15 pulg) de espesor. Cada capa deberá vibrarse por separado. El tiempo de vibrado es más prolongado que para vibrado interno, a menudo tanto como dos minutos y puede llegar hasta 30 minutos o más en secciones de gran espesor.

Otro procedimiento que ha dado buenos resultados en trabajos de precolados consiste en colado continuo de cordones de concreto de 5 a 10 cm. (2 a 4 pulg) de espesor, acompañado de vibración continua. Este sistema puede producir superficies prácticamente libres de agujerillos.

Es deseable, de ser posible, variar la frecuencia y la amplitud de los vibradores externos. En los vibradores eléctricos de uso externo, las amplitudes pueden ajustarse fácilmente a diferentes valores. En los vibradores externos operados por aire la frecuencia puede ajustarse al variar la presión del aire, mientras que la amplitud puede alterarse al remplazar el peso excéntrico.

Puesto que la mayoría de movimiento impartido por los vibradores de cimbra es perpendicular al plano de la cimbra, ésta tiende a actuar como una

membrana vibratoria, con un efecto de "lata de aceite". Esto es particularmente cierto si la vibración es del tipo de gran amplitud y la placa de la cimbra es muy delgada o carece de rigidez adecuada. Este movimiento de adentro hacia fuera puede originar que la cimbra bombee aire dentro del concreto, especialmente en los 50 o 100 cm (unos cuatro pies) superiores en un muro o en una columna, lo que origina una abertura entre el concreto y la cimbra. Aquí no hay capas subsecuentes de concreto que ayuden a cerrar la abertura. Por consiguiente a menudo es recomendable utilizar un vibrador interno en esta región.

Algunas veces el vibrado de la cimbra durante el descimbrado es útil. El pequeño movimiento de la superficie total de la cimbra ayuda a desprenderla del concreto y permite retirarla fácilmente sin dañar la superficie del mismo.

## **6.6 Imperfecciones**

Las imperfecciones más serias que resultan de un vibrado incorrecto son: "panales de abeja", excesivos huecos de aire atrapado, vetas de arena y líneas de escurrimiento.

### **6.6.1 Panal de abeja**

Esto ocurre cuando el mortero no llena los espacios entre las partículas del agregado grueso. La presencia de un panal de abeja indica que la primera etapa de consolidación no se consumió totalmente en este lugar. Cuando aparece en la superficie es necesario picar y limpiar el área para hacer posteriormente una reparación. Tales reparaciones deberán hacerse al mínimo, principalmente porque echa a perder la buena apariencia de la estructura los panales de abeja son causados generalmente por el uso de vibradores inadecuados o deficientes, o por malos procedimientos de vibrado. Inmersiones sin sistema en ángulos al azar, son causa de una acumulación de mortero en la parte superior, en tanto que la parte inferior de la capa puede resultar escasa de vibrado.

Algunas veces hay otros factores que contribuyen a la formación de panales de abeja, tales como insuficiencia de pasta para llenar los huecos entre el agregado, proporción inadecuada de arena en relación con el agregado total, mala graduación del agregado, revenimiento inadecuado para las condiciones. Al calcular el espaciamiento del acero, tanto el calculista como el constructor han de tener en mente que el concreto debe de consolidarse.

### **6.6.2 Exceso de huecos de aire atrapado**

El concreto que esté libre de panales de abeja aún contienen huecos de aire atrapado, porque es poco factible una eliminación total del aire atrapado. La cantidad de aire atrapado que permanece en el concreto después de la vibración depende en su mayor parte, del equipo vibratorio y del procedimiento utilizado, pero está también sujeto a las propiedades de la revoltura de

concreto, localización del colado y otros factores. Donde no se utiliza equipo y procedimientos adecuados, o hay otras condiciones desfavorables, el contenido de aire atrapado será alto y los huecos superficiales -picaduras o agujeros-serán excesivos.

Para reducir los huecos de aire en las superficies de concreto, la distancia entre la inmersiones de los vibradores internos deberá reducirse y aumentarse el tiempo de cada inmersión. También deberá hacerse una hilera de inserciones en la vecindad de la cimbra (pero sin tocarla). Donde el contacto con ella sea inevitable, el vibrador utilizado deberá tener hule en su regatón; aun así cualquier contacto deberá evitarse lo más posible, porque esto puede estropear la cimbra y desfigurar la superficie del concreto.

Los recubrimientos de alta viscosidad para las cimbras o aquéllos que se aplican en espesores gruesos, tienden a retener el aire y las burbujas de agua, y, por lo tanto, deben de evitarse.

Los vibradores de cimbra tienden a mover el mortero hacia la cimbra y cuando se usan en combinación con vibradores internos sea ha comprobado su efectividad, para reducir el tamaño y número de huecos de aire en la superficie.

En condiciones muy difíciles y donde la apariencia del concreto es muy importante, el cuchareo cercano a la cimbra ha servido algunas veces de ayuda para reducir los huecos de aire.

Es prácticamente imposible eliminar los huecos de aire de las cimbras con secciones en forma de trapecio y los calculistas deben de considerar este hecho. Sin embargo, estos huecos pueden reducirse al mínimo si se evitan las revolturas con exceso de arena y pastosas; el concreto se vacía en capas de 30 cm. (1 pie) de espesor o menores; los vibradores se meten tan cerca de la cimbra como sea posible. Si se sujeta un vibrador externo a la cimbra inclinada y se reduce el espesor de la capa a 15 cm. (6 pulg) se reducen los huecos considerablemente.

### **6.6.3 Vetas de arena**

Estas son originadas por un fuerte sangrado a lo largo de la cimbra como resultado del tipo y proporciones de los materiales y del método de vaciar el concreto. Las revolturas ásperas y húmedas, deficientes en cemento y con agregados mal graduados, particularmente aquéllos deficientes en tamaño entre el núm. 50 a 100 (0.297 a 0.149 mm) y menores del núm. 100 (0.149 mm) pueden causar vetas de arena, así como otros problemas. Dejar caer el concreto a través del acero de refuerzo y depositarlo en espesores gruesos sin un vibrado adecuado puede también originar vetas de arena así como panales de abeja. Otra causa es la de fijar vibradores a cimbras con fugas, lo cual tiene acción de bombeo, con la consiguiente pérdida de finos o una introducción de aire por las juntas.

#### **6.6.4 Líneas de escurrimiento**

Éstas son líneas oscuras. Comúnmente indican que cuando se vibró una capa, el vibrador no penetró la superficie en la capa inferior.

#### **6.7 Falta de vibrado y exceso de vibrado**

La falta de vibrado es más común que el exceso de vibrado. El concreto de peso normal que ha sido bien proporcionado y tiene el revenimiento recomendado no es fácilmente susceptible al exceso de vibrado. Consecuentemente, si hay alguna duda de haber logrado una consolidación adecuada, ésta deberá resolverse con un vibrado adicional.

El exceso de vibrado puede ocurrir debido a descuido en la operación o debido al uso de equipo de vibrado demasiado grande, el vibrado resulta ser varias veces la proporción recomendada. tal exceso puede dar como resultado;

a) **Asentamiento del agregado grueso.** Un examen mostrará en la superficie una capa de mortero que prácticamente no contiene agregado grueso. La superficie del concreto puede también tener una apariencia espumosa, especialmente si la revoltura tiene aire incluido. Esta condición es más común en las revolturas húmedas y donde hay una gran diferencia entre los pesos específicos del agregado grueso y del mortero. Un control adecuado de la consistencia podrá atenuar el problema.

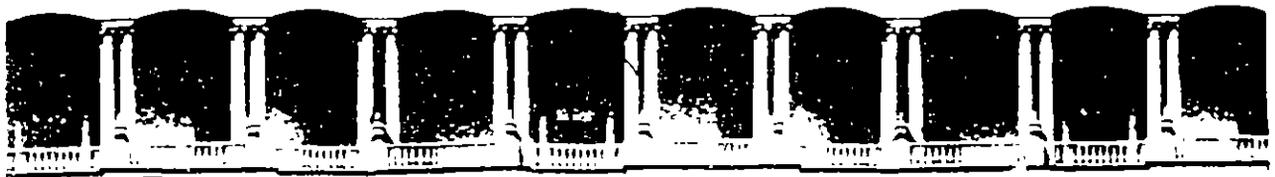
b) **Vetas de arena.** Son más comunes en revolturas ásperas y pobres (como en ciertas clases de concreto arquitectónico).

c) **Pérdida de casi todo el aire incluido en el concreto con algún aditivo inclusor de aire.** Esto puede reducir la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo. De nuevo el problema se limita a las revolturas húmedas. Si el concreto contenía originalmente la cantidad de aire incluido recomendada y el revenimiento se halla dentro de los límites adecuados, una pérdida seria de aire incluido es sumamente improbable.

d) **Con el uso de vibradores externos pueden resultar deflexiones excesivas de la cimbra o deterioro de ésta.**

C

C

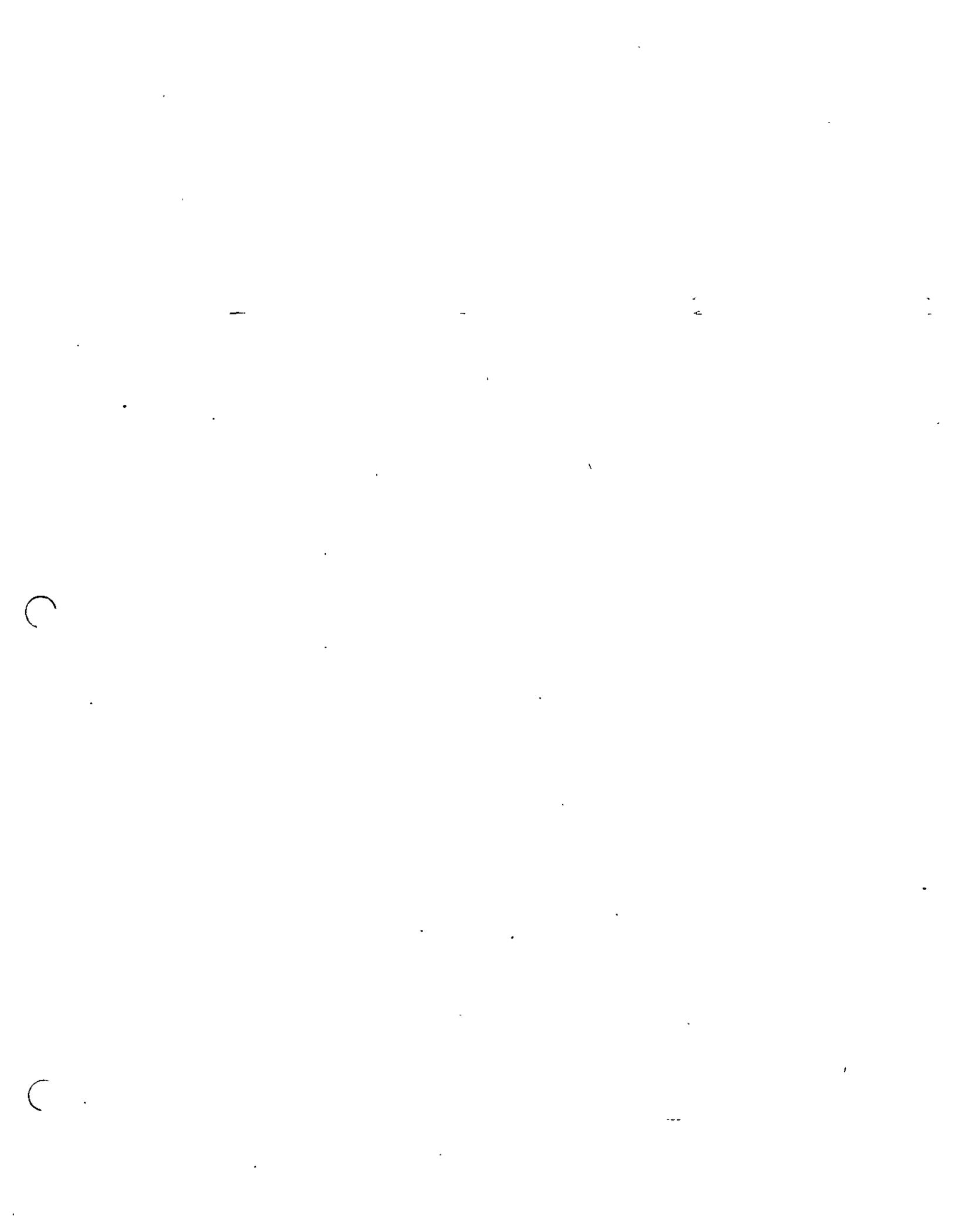


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**TEMA : PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS**

**EXPOSITOR: ING. MARIO TENA BERNAL  
1996**



**CURSO: CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DE CONCRETO  
HIDRAULICO.**

**TEMA: PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS.**

**SUBTEMA: CEMENTO**

**OBJETIVO: CONOCER LAS CARACTERISTICAS DE LOS CEMENTOS  
PORTLAND: SELECCIONAR EL TIPO MAS ADECUADO EN FUNCION DEL  
TIPO DE OBRA Y DE SU GRADO DE EXPOSICION.**

**ING. MARIO TENA BERNAL**

## **TEMA: CEMENTO.- GENERALIDADES**

### **DESARROLLO DEL TEMA.**

En el sentido mas amplio la palabra cemento es aplicable a cualquier adhesivo. En el área de la construcción en la Ingeniería Civil, este termino se le aplica a un producto en polvo que mezclado con agua forma la matriz cementante que aglutina a los agregados petreos (arena y grava) para formar un material que en el estado plástico se le puede dar la forma que se desee y cuando este endurece se convierte en una piedra artificial cuya resistencia se puede gobernar en su diseño. A este material se le conoce como concreto hidráulico, ya que debido a las propiedades de su aglutinante puede fraguar y endurecer tanto en el agua como en el aire.

El cemento Portland debe su nombre al hecho de que su inventor el maestro de obras inglés Joseph Aspdin en 1824, descubrió que el polvo producido al moler una mezcla calcinada de calizas y arcillas al mezclarse con agua y endurecer su color y apariencia era semejante a las piedras de ciertas canteras de la isla de Portland, Inglaterra.

En la actualidad se define al Cemento Portland como el producto de la molienda fina del clincker con una adición de yeso.

El clinker es la piedra artificial producto de la sinterización o fusión térmica de la mezcla de materiales ácidos (ricos en óxido de silicio como las arcillas, pizarras, etc.) y materiales básicos (ricos en carbonato de calcio como calizas, margas, etc.) mezclados en proporciones adecuadas.

Durante su proceso de fabricación en un horno de producción continua, en la primera etapa se realiza el desdoblamiento de los materiales separandose sus componentes y en la segunda etapa se realiza la asociación por afinidad química y térmica de dichos componentes. En esta última etapa se forman los llamados compuestos potenciales del cemento, los cuales son:

<b>COMPUESTO</b>	<b>FORMULA</b>	<b>SIMPLIFICACION</b>
Silicato dicálcico	$2CaOSiO_2$	C25
Silicato tricálcico	$3CaOSiO_2$	C35
Aluminatotricálcico	$3CaOAl_2O_3$	C3A
Ferro-aluminato tetracálcico	$4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$	C4AF

Estos compuestos representan el 90% del peso del cemento y son los que le dan sus características. El 10% restante está constituido por el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que se adiciona al clinker durante la molienda final, la cal libre ( $\text{CaO}$ ), el magnesio ( $\text{MgO}$ ) los alcalis totales ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) y el residuo insoluble.

El silicato dicálcico (C25) se hidrata y endurece lentamente liberando poco calor. A sus edades su contribución al desarrollo de resistencia es nula pero a edades mayores de una semana es el responsable del desarrollo e incrementos de resistencia.

El silicato tricálcico (C35) se hidrata y endurece rápidamente liberando mucho calor. Es el responsable en gran medida del fraguado, el endurecimiento y el desarrollo de resistencia a edades tempranas pero a grandes edades su aportación es nula.

El aluminato tricálcico (C3A) es el compuesto que se hidrata más rápidamente liberando la mayor cantidad de calor durante el fraguado y el endurecimiento. Su contribución al desarrollo de resistencia a cortas edades es poco significativo. No es deseable que este compuesto se encuentre en grandes cantidades en los cementos ya que este reacciona con los sulfatos y forma una sal palvurelenta expansiva cuyo nombre es Etrignita ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$ ) la cual a medida que se hidrata provoca agrietamiento y desintegración del concreto.

El Ferro-Aluminato tetracálcico (C4AF) reduce la temperatura de formación del clinker, ayudando por lo tanto al proceso de manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidéz pero su actividad y su contribución a las características del cemento son prácticamente nulas.

El Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que se adiciona al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C3A. Sin yeso el fraguado del cemento sería instantáneo.

La Cal libre ( $\text{CaO}$ ) y el magnesio ( $\text{Mg}$ ) son compuestos que es deseable se encuentren en el cemento en cantidades inferiores al 2%, ya que un exceso de ellos puede producir una expansión destructiva retardada.

Los Alcalis totales ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) también se recomienda que el contenido de los mismos en un cemento de preferencia sea menor al 0.6% para minimizar las posibilidades de reacción en medio alcalino de cierto tipo de agregados.

		Tipo I.- Normal
		Tipo II.- Modificado
<b>SIMPLES</b>		Tipo III.- De alta resistencia rápida
		Tipo IV.- De bajo calor de hidratación
		Tipo V.- De alta resistencia a los sulfatos
<b>CEMENTOS</b>		
	<b>MEZCLADOS</b>	Tipo IS.- De escorias de alto horno
<b>PORTLAND</b>		Tipo IP.- Puzolánico
		De color (blanco)
		Expansivos
<b>ESPECIALES</b>		De albañilería
		Para pozos petroleros

**Cemento Portland Tipo I.-** Normal o de uso común, es adecuado para ser empleado en todo tipo de obras en las que no existe un requisito en particular a satisfacer o cuando no se requieren las propiedades especiales de los demás tipos de cemento.

**Cemento Portland Tipo II.-** Modificado o de moderado calor de hidratación y resistencia moderada a la acción de los sulfatos, se emplea cuando es necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como ocurre en las estructuras de drenaje y obras de alcantarillado. También puede emplearse en obras en climas cálidos o en estructuras de volumen considerable como pilas, estribos y muros de contención.

**Cemento Portland Tipo III.-** De alta resistencia rápida. Tiene una composición química similar a la del cemento tipo Y, pero su finura es notablemente mayor lo que hace que este se hidrate y frague rápidamente, genere mucho calor y desarrolle resistencias elevadas a cortas edades lo que permite dar un mayor número de usos a las cimbras, reducir los tiempos de ejecución de las obras y poner rápidamente en servicio las estructuras. Es recomendable su empleo en climas fríos para contrarrestar los efectos de la temperatura ambiente y reducir los periodos de curado controlado. No es recomendable para el colado de elementos estructurales robustos (cuya máxima dimensión sea mayor de 90 cm.), ya que la acumulación de calor que genera al hidratarse podría originar agrietamientos.

**Cemento Portland Tipo IV.-** De bajo calor de hidratación como su nombre lo indica, produce un bajo calor de hidratación y aunque la mayoría de los textos no lo mencionan también tiene una buena resistencia a la acción de los sulfatos. Se emplea en todos los casos en que se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor, provocada por la hidratación. Generalmente este cemento se emplea para hacer estructuras de concreto masivo, como presas o estructuras robustas, como pilas, estribos, muros de contención, etc., también es recomendable su empleo en climas cálidos.

**Cemento Portland Tipo V.-** De alta resistencia a los sulfatos. Se recomienda su empleo exclusivamente para hacer concretos que van a estar expuestos a ataques severos de sulfatos, ya sea en contacto con suelos ó aguas que contengan fuertes cantidades de sulfatos. Aunque en los textos no se menciona también es de bajo calor de hidratación, razón por la cual el desarrollo de resistencia es mas lento que en el Cemento Portland tipo Y. La elevada resistencia a los sulfatos de este cemento, se atribuye a su bajo contenido de aluminato tricalcico (C3A).

**Cementos Mezclados.-** El reciente interés en la conservación de la energía a propiciado el uso de materiales secundarios en el concreto de Cemento Portland. Los cementos hidráulicos mezclados se producen con la mezcla íntima y uniforme de dos materiales finos. Uno de ellos es el Cemento Portland y el otro generalmente es una puzolana.

**Puzolana.-** Se define como tal a los silicatos o silicatos de aluminio y fierro, que por si mismo posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente molidos y en presencia de humedad se convinan con el óxido de calcio (CaO) a la temperatura ambiente, para formar compuestos con propiedades cementantes (silicatos calcicos).

Cabe aclarar, que a los materiales que comunmente se les conoce como puzolanas son los que en su composición tienen un porcentaje considerable de puzolanas que según el caso, puede ser desde el 65% hasta el 95%.

Como puzolanas se emplean un gran número de materiales naturales: las tierras diatomáceas, los horstenos opalinos, las arcillas, las tobas volcánicas y el pómez. La mayoría de estas, para ser usadas se deben moler y en algunos casos calcinarse a temperaturas de 650° C a 950° C para activar sus componentes.

Dentro de las puzolanas, también debe incluirse a las cenizas de cáscara de arroz, las cenizas volátiles y los humos de sílice.

La escoria granulada de alto horno finamente molida, es un producto no metálico que contienen silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases, que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en los altos hornos. La escoria fundida a una temperatura de aproximadamente 1500 C, al enfriarse por inmersión en agua forma un material granular, el cual se muele hasta alcanzar una finura Blaine superior a 6000 cm<sup>2</sup>/gr.

La mezcla de las escorias de alto horno así como la de las puzolanas con el Cemento Portland, tiene como finalidad la de reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del Cemento Portland, para formar compuestos con propiedades cementantes y evitar que en el concreto exista cal libre que posteriormente pueda carbonatarse.

**Cemento Portland de Escorias de Alto Horno tipo IS.-** Este cemento se puede fabricar moliendo juntos con el clínker la escoria de alto horno o bien ambos componentes se muelen separadamente y luego se mezclan. El contenido de escoria de alto horno en estos cementos es del 25% o más. Se puede emplear en las construcciones de concreto en general o cuando se requiere moderado calor de hidratación o moderada resistencia a la acción de los sulfatos.

**Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.-** Este cemento generalmente se fabrica moliendo junto con el clínker una puzolana o bien mezclando el Cemento Portland con una puzolana, finamente molida. El contenido de puzolana en este tipo de cemento puede ser del 15% al 40% dependiendo de la calidad de la puzolana. Estos cementos son de bajo calor de hidratación, resistentes a la acción de los sulfatos, sus requerimientos de agua son menores que los de los Portland puros y los concretos hechos con este tipo de cementos son muy plásticos, trabajables, volumétricamente más estables e impermeables que los hechos con cementos Portland puros. Debido a que su desarrollo de resistencia

es lenta, su uso es recomendable para las construcciones en donde no se requiera resistencias altas a edades tempranas.

**Cementos Especiales.-** Estos cementos se fabrican con una característica específica para un fin determinado que los diferencia de los otros cementos.

**Cemento Portland Blanco.-** Este es un Cemento Portland que cumple las especificaciones de los cementos Tipo I ó Tipo III y únicamente difiere del gris en su color. Este cemento es fabricado con materias primas (caolines) que contienen cantidades insignificantes de óxidos de hierro y manganeso que son los que dan el color gris al cemento y la molienda del clínker se hace en molinos con bolas de cuarzo. Se emplea principalmente para fines arquitectónicos, como fabricación de precolados para fachadas, fabricación de terrazas, junteo de azulejos y para hacer concretos o morteros coloreados.

**Cemento Expansivo Tipo E-I.-** Este es un cemento hidráulico que después del fraguado durante el período inicial de endurecimiento, se expande ligeramente para compensar la contracción por fraguado. Estos cementos se fabrican adicionando a un cemento Portland uno o más compuestos para darle la característica expansiva, tales como, trisulfo aluminato tetracálcico anhidro, sulfato de calcio, óxido de calcio, cemento de aluminato de calcio o aluminato tricálcico en grandes cantidades. Estos cementos pueden ser usados para: (a) compensar la disminución de volumen originada por la contracción por secado, (b) inducir esfuerzos de tensión en el refuerzo, (c) para dar estabilidad volumétrica a largo plazo a los elementos estructurales y (d) para controlar o reducir el agrietamiento de contracción por secado.

**Cemento de Albañilería.-** Estos son cementos hidráulicos diseñados para usarse en sustitución de la cal para fabricar morteros empleados en las construcciones de mamposterías. Debido a que su calidad es inferior a la de los cementos Portland estos cementos no deben ser empleados en la fabricación de concreto hidráulico. Estos cementos generalmente se fabrican mezclando cualquiera de los cementos Portland simples o compuestos con uno o más de los siguientes materiales: cal hidráulica, cemento natural, cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria y arcillas. La proporción de sus componentes se selecciona en función de su capacidad para impartir a los morteros plasticidad, trabajabilidad y retención de agua.

**Cemento para pozos petroleros.-** Estos cementos normalmente están hechos con clinker de cemento Portland o mezclas de cementos hidráulicos. Por lo general deben ser de fraguado lento y resistentes a temperaturas y presiones elevadas. Su principal aplicación es para fabricar lechados para inyección o sellado de pozos petroleros. Se fabrican en varias clases y la elección de cada una de ellas está en función del rango de profundidad de el pozo, la temperatura, la presión y el contenido de sulfatos del medio.

)

)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**TEMA : NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-C-155-1987**

1996

2

3

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CONTROL Y  
VERIFICACION DE LA  
CALIDAD DEL

CONCRETO HIDRAULICO

NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-C-155-1987

CONCRETO HIDRAULICO.  
ESPECIFICACIONES.

## INTRODUCCION

El concreto hidráulico es un producto cuyas características en cuanto a componentes puede ser muy variada, es por eso que para su producción y posterior manejo, deben existir procedimientos que nos indiquen su forma correcta de tratamiento.

Una Norma Oficial Mexicana representa un punto de vista común de aquellas partes que se involucran con la producción, uso y calificación de cualquier producto comercial.

Estas Normas son elaboradas para ayudar a la industria, productores, usuarios (públicos y privados) y grupos de interés general.

El uso de una Norma es puramente voluntario y en la medida en que exista una mayor difusión de sus usos, aplicaciones y restricciones se tendrá una relación de concordia entre los productores y el usuario. Sin embargo para ciertos trabajos o en ciertas regiones, las especificaciones de las Normas pueden ser más o menos restrictivas, por lo que se deberá complementar con los reglamentos y Normas locales o en ausencia de éstas llegar a un acuerdo entre productor y usuario, ya sea estableciendo condiciones mediante un contrato o recurriendo a documentos internacionales.

Dentro de las Normas que rigen la industria de la Construcción, existe la Norma Oficial Mexicana NOM-C-155 -CONCRETO HIDRAULICO ESPECIFICACIONES, la cual establece los requisitos que debe cumplir el concreto hidráulico, utilizados en la Construcción.

Los puntos relevantes de esta Norma son: Los requisitos de calidad para el concreto hidráulico, tanto en estado fresco como endurecido: Los requisitos de los materiales que componen al concreto; requisitos para el equipo de dosificación de materiales; requisitos de mezclado; su transporte y entrega; muestreo; método de prueba y las bases para la contratación del producto.

Los puntos tratados en esta Norma de relevancia significativa son los siguientes:

- \* Requisitos de los materiales que componen al concreto.
- \* Requisitos de los materiales que componen al concreto.
- \* Requisitos para el equipo de dosificación de materiales.
- \* Requisitos de mezclado.
- \* Transporte y Entrega.
- \* Muestreo.
- \* Métodos de prueba.
- \* Bases para la contratación del producto.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M

CONTROL Y VERIFICACION DE  
LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO

CALIDAD Y COSTO

ING. FELIPE GOMEZ SANCHEZ

**I.- PRUEBAS FISICAS. a) CEMENTO. C)**

**ADITIVOS. c) AGREGADOS.**

**II.- ESTUDIOS DE EFICIENCIA. a)**

**CEMENTO. b) ADITIVOS. c)**

**AGREGADOS.**

**III.- ANALISIS DE COSTO MATERIA PRIMA DE**

**ACUERDO A LAS PRUEBAS FISICAS Y**

**ESTUDIOS DE EFICIENCIA. a) CEMENTO.**

**b) ADITIVOS. c) AGREGADOS.**

**IV.- SELECCION MATERIA PRIMA DE ACUERDO**

**ANALISIS DE COSTO.**

**CURSOS ABIERTOS**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO**

**FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CONCRETO**

**ING. FRANCISCO SANTOS O**

**NOVIEMBRE- DICIEMBRE**

## CONSIDERACIONES ESPECIALES DE LA PRACTICA DE LA CONSTRUCCION ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

### FACTORES QUE AFECTEN LA CALIDAD DEL CONCRETO:

- 1.- Factores que deben satisfacerse para la obtención de un concreto de buena calidad uniforme y controlar todos ellos para no afectarla, véase figura 1. y 2 .

Satisfechos estos factores y obtenido un concreto sano, esto es satisfechas las tres condiciones que se indican en el cuadro, podemos considerarlo como el alumbramiento de un ser, que si se tomaron y cumplieron todas las recomendaciones de los doctores, se obtendrá un producto sano y robusto, pero si ese ser no recibe posteriormente a su alumbramiento venturoso los cuidados en la alimentación, en su aseo y mimos en general, crecerá un ser raquítico no sano y deberá tener atenciones fuera de lo normal porque indudablemente tendrán que efectuarse gastos que hubieran sido inecesarios si se hubieran atendido a las necesi dades que requería en su tierna edad, siguiendo esta comparación se expordrán los requerimientos a seguir en el concreto elaborado y recibido en condiciones optimas de buena calidad,para que conserve esa calidad hasta siempre, ya que como se expuso en el cuadro anterior, el concreto debe diseñarse no únicamente para sa tisfacer el requisito de Resistencia Estructural si no que debe ser Económico Y Dura ble .

### 2.- CONDICIONES EN QUE DEBE ENCONTRARSE EL SITIO DE LA OBRA

#### LIMPIEZA GENERAL

El sitio de la obra deberá estar, saturado pero sin encharcamiento de agua, limpio esto es, sin contener materiales extraños que pueden alterar la composición del concreto y con ello variar la resistencia y alterarlo disminuyendo su durabilidad. Los materiales extraños que deben eliminarse son varios y dependen del tipo de estructura que se vaya a construir, por ejemplo, si se trata de una losa de cimentación, deberán eliminarse, maderas de desperdicio, tierra suelta, grasas, aceites terrones de arcilla, serrín, papel etc. En el caso de trabes columnas, muros y en general elementos enterrados, debe hacerse una revisión exhaustiva eliminando cualquier material extraño y dejar drenes que posteriormente se obturen para que antes de ello, efectuar un lavado y eliminar sobre todo tierra, semín, y en general cualquier contaminante que altere la calidad del concreto, disminuyendo resistencia, durabilidad y en algunas ocasiones alterar su apariencia, sobretodo cuando se trata de concreto aparente.

## **Acero de refuerzo.**

Quando se haya efectuado la limpieza de los elementos estructurales donde se va a depositar el concreto, deberá hacerse una revisión exhaustiva del acero de refuerzo pues cuando no satisfaga las exigencias requeridas para él, puede originar efectos que aunque no se puedan considerar estrictamente que sean causa de la alteración de la calidad del concreto, originan efectos que pueden alterar considerablemente el comportamiento de la estructura, llegando en algunos casos a originar la falla de ella y que generalmente esto se lo atribuyen a la mala calidad del concreto.

**Analizamos algunos casos :**

Principalmente mala colocación del acero que en este caso si pueden alterar la buena calidad del concreto, puntualizando, cuando por la alta área de acero sobre todo en columnas y trabes se tiene que poner una cantidad excesiva de varillas de refuerzo lo que por el espacio que acepta el proyecto en la sección al colocarlo se tiene que poner varillas con luz entre ellas muy cerradas de tal manera que funcione como malla e impida que el concreto pase a través de ellas reteniendo gran parte del agregado grueso y pasando únicamente tamaños más pequeños, que imaginándonos un corte transversal de elementos se observa un concreto muy heterogéneo, dando como consecuencia que la transmisión de esfuerzos no sea continua y por lo consiguiente se originen concentraciones en algunas zonas resultando fallas en la estructura que generalmente consideran su origen a la mala calidad del concreto, lo que puede ser cierto, pero esa falla no es sobre el concreto original y lo que probablemente si, por la alteración sufrida en este caso, por la colocación deficiente de él.

Existe para eliminar esta probable falla especificaciones que limitan la luz mínima de la varilla de refuerzo y la misma entre las paredes de la cimbra y la varilla mas cercana que en la luz entre varilla de refuerzo y pared de cimbra se acepta que el tamaño máximo del agregado no sea mayor de  $\frac{3}{4}$  de la luz entre varillas de refuerzo. Foto 3.

El acero de refuerzo no debe tener escamas de oxidación y en caso de existir, se eliminarán frotándolas con cepillo con elementos cepillante de acero y además que este no tenga oxidación con incrustaciones, en este último caso, deberá pedirse al proyectista que afine la sección de acero en caso de que lo estime necesario, también debe evitarse que tengan adherido grasas aceites, arcilla y todo elemento que altere la adherencia con el concreto. El primer defecto, o sea el que tenga escamas de oxidación su efecto en el funcionamiento del elemento estructural es pérdida de adherencia con el concreto y posible falla del mismo.

Desde luego que este fenómeno no es atribuible directamente a la alteración de la buena calidad del mismo, pero generalmente y mas bien al fallar el elemento por ese concepto se lo atribuyen a la mala calidad del concreto y en este caso es complicado y costoso poder comprobar que el origen de ello fué por la falla de adherencia del acero al concreto. FOTO 3.

En general en el segundo caso, cuando se aprecien oxidaciones con incrustaciones, el elemento estructural puede fallar por disminución de área de refuerzo, lo que atribuyen a la mala calidad del concreto, por lo que si al efectuarse la revisión se detectara este defecto, es necesario consultar con el proyectista si es indispensable aumentar la sección del acero de refuerzo.

Revisar con los planos estructurales si el número de varillas de refuerzo en cada elemento está correcto, si los cortes en ellas y doblado en su caso, es el indicado en los planos y si la fijación del refuerzo no es firme, pues fallas por estos conceptos, pueden originar la aparición de fisuras, agrietamientos y aun fallas del elemento lo que no debe considerarse como deficiencia en la calidad del concreto empleado.

**Moides o formas.**

Las formas deben colocarse correctamente esto es que puedan soportar sin deformarse la presión que ejerce el concreto sobre ellas, sobre todo tratándose de columnas trabes o concreto en masa pues la falla de ellas puede originar alteración en las secciones de los elementos o de volúmenes grandes, ya que la falla o deformaciones de ellas puede originar segregación del concreto y si estas formas no son estancas se presentan fugas de llegada y mortero cuya ausencia evita el acomodo correcto de los agregados dando lugar a la formación de "Panales de abeja", ocasionando fallas estructurales por la discontinuidad de refuerzos, concentración de los mismos y falla del concreto, pero no originada por ser de mala calidad sino es por la alteración de su estructura ocasionada por lo antes expuesto, o sea por su colocación defectuosa.

Las presiones que se ejercen sobre las formas al colocar el concreto son originadas por que se supone que el concreto actúa como un semifluido y esta presión puede ser afectada por los siguientes factores:

a ) Factor de forma del agregado grueso b) Consistencia y proporciones de la mezcla. c) Velocidad de colocación del concreto. d) Procedimiento de colocación del concreto, ya sea a mano o por vibración. e ) Temperatura del concreto .

f) Tamaño y forma de la cimbra y cantidad y separación del acero de refuerzo, en la transparencia 4 y 5 se grafican los resultados de una serie de pruebas, estas presiones actuando sobre las paredes que las forman deben calcularse

correctamente, y revisarse antes de la colocación del concreto para evitar deformaciones de ellas y no se alteren las secciones y si se presentan fugas de lechada o mortero que puede originar fallas o fisuras en los elementos que no deben ser atribuibles a la calidad del concreto.

Las paredes que las formas deben impermeabilizarse si son de madera, pues cuando no se haga al colocar el concreto absorberán agua del mismo originando la aparición de fisuras por contracciones y además dan un mal aspecto en el concreto que se apoyó en ellas.

Todo esto lo atribuyen generalmente a la mala calidad del concreto posiblemente argumentado que fue originado por la heterogeneidad en su composición.

El concreto de origen no es homogéneo, entonces esto origina que al estar endurecido, se forme un material más heterogéneo a diferencia de la estructura interna del acero y algunas rocas de materiales que se obtienen de una fusión de sus componentes que si son de constitución homogénea como las rocas volcánicas

Al tenerse un material como el que se aprecia en un corte de un cilindro de concreto, transparencia 6 y 7 se observa que está constituido por una sucesión de partículas de diferentes tamaños y formas y muchas veces de materiales de diferente origen, por ejemplo basalto, andesita, granito, calizas, estos con diferentes características, módulo de elasticidad y algunas veces diferentes formas las que al ser aplicada alguna fuerza externa, esta se transmite no uniformemente en toda la masa, por lo que puede cambiar de dirección en el seno del material y originar concentración de dicha fuerza en determinada zona y ello originar falla del elemento. Ahora bien al manejar el concreto por procedimientos no adecuados se puede originar segregación de los materiales que lo constituyen, originando en el concreto endurecido alteraciones en la transmisión de fuerzas las que pueden resultar mayores por concentración de ellas y originar la falla del elemento.

La falla de un elemento de concreto se puede originar además por lo anteriormente expuesto, por contaminación, colocación y otras causas que se tratarán a continuación, fallas que generalmente son atribuidas a una mala calidad del concreto entregado cosa que no debe ser así.

### **3.- Recepción del Concreto.**

Deben tomarse todas las precauciones necesarias al recibir el concreto, para evitar segregación del mismo o bien su contaminación lo que traería como consecuencia alterar su calidad que se traduce en disminución de resistencia y pérdida de durabilidad, también debe evitarse adicionar cualquier sustancia no prevista, y por ningún motivo debe adicionarse agua si no es autorizada por el fabricante, ya que ello alterará la relación agua cemento, factor principal para adquirir la resistencia y durabilidad proyectada. Al recibirse el concreto tampoco debe agregarse ningún aditivo que no esté

autorizado por el fabricante y debe recibirse el concreto en un recipiente adecuado como artesas o tolvas y evitar en su descarga que se origine segregación del mismo. Se debe determinar el revenimiento y con ello su aceptación por este concepto, aceptándose las siguientes tolerancias para los revenimientos que se encuentran en la tabla .

**Revenimientos especificado      Tolerancia en cm.**

**Menos de 5 cm. - - - - +1.5 de 5 cm. - - - - + 2.5 Más de 10 cm. - - - - + 3.5**

**En caso de que el revenimiento no quede dentro de estas tolerancias, no debe -  
adicionarse agua a menos de que el fabricante lo autorice e indicara la cantidad.**

**En las transparencias 8, 9 y 10 se aprecia descarga de concreto de una revolvedora, obsérvese que la descarga nunca se hace libremente de la revolvedora al elemento receptor sino que se coloca un elemento intermedio de manera que la descarga al recipiente sea vertical y con deflectores para evitar separación de los materiales que originaria como ya se ha dicho, segregación obteniéndose un concreto heterogéneo dentro de la misma heterogeneidad del mismo por naturaleza y que altera su calidad.**

#### **4.- Transporte.**

**Dependiendo de tipo de obra que se ejecute y del equipo disponible, se pueden emplear varios métodos para el transporte o manejo del concreto seleccionando el más eficiente para evitar, la vaporación de agua, movimiento de las partículas que lo constituyen, contaminación con materiales extraños a fin de que al llegar al sitio de su colocación conserve la consistencia adecuada no perdiendo las cualidades que para ello fué diseñada y elaborada.**

**Los sistemas a emplear pueden ser con, carretillas con rueda de diámetro grande y con llanta ahulada para evitar vibración en su transporte, canalones, cangilones, bandas transportadoras, equipo para lanzar concreto (neumático) y transporte por bombeo. Los sistemas o métodos que se indican se proponen para evitar principalmente la alteración de la calidad por segregación, pérdida de humedad, contaminación con materiales extraños, vibraciones, ya que todo esto contribuye a la alteración de la calidad del concreto original y por consiguiente disminución en la resistencia y alterar la durabilidad, en suma que el concreto original se convierta en otro y al presentarse fallas, que en este caso por diferencia en su transportación generalmente se les atribuyen a mala calidad - del concreto original.**

Además de los procedimientos para transporte ya mencionados se debe considerar el que se hace mediante cable vía y botes de gran capacidad, también debe considerarse en camiones revolvedoras .

En la transparencia 11. se observa un dispositivo para transportar por cable vía ("Buchets " ) botes de gran capacidad de 6 a 8 m<sup>3</sup> de una sola vez obsérvese que no se aprecia segregación, transparencia 12, el mismo concreto después de haber sido compactado por vibración transparencia 13 . Este sistema de transporte de concreto se emplea en obras de grandes volúmenes por colocar, como presas canales para irrigación, túneles, etc.

En la transparencia 14 se aprecia transporte por camión revolvedor y transporte y colocación por bomba.

En la transparencia 15 se observa camiones mezcladores en batería para alimentar continuamente a una bomba.

La transparencia 16 muestra el transporte y colocación por bombeo a una cimentación para un sistema de compuertas en una torre de tomá de una presa.

Edificio de los Angeles Cal. de una altura de 316 m, donde se bombeo concreto de una sola vez, transparencia 17 y en la 18 se aprecia el concreto ligero transportado por bomba

## 5- Colocación

La colocación y compactación adecuada tal vez sea de las condiciones a satisfacer más importante para conservar la homogeneidad del concreto, por lo tanto debe evitarse en estas operaciones y en cualquier otra de su manejo, segregación puesto que lo convierte en un material más heterogéneo de lo que de origen ya es.

En la transparencia 19, se aprecia la colocación de concreto en un sifon circular mediante bandas transportadoras y caída por canalones.

Cuando la colocación de concreto se haga sobre superficies inclinadas siempre debe hacerse de abajo hacia arriba, colocando en la parte inferior un retén que impida que el concreto se deslice fuera del límite de vaciado de la zona por colar, además que esto permite efectuar una buena compactación (vease transparencia 23 y 24). En este caso no deben diseñarse mezclas muy fluidas y más bien deben ser secas con revenimientos no mayores de 5 cm, si no se cumple con esta exigencia originará indudablemente alteración en su homogeneidad y consecuentemente alteración en la calidad original del mismo, con sus fallas de resistencia y durabilidad consiguientes, que sin lugar a duda van a ser atribuidas a la mala calidad del concreto original.

En la transparencia 25 se muestra el procedimiento correcto e incorrecto para colocación de concreto en formas o cimbras de luces cortas y altura regular. En la transparencias 26,27,28 y 29 se observa segregación.

Concreto ligero bombeado a una altura de 316 m., transparencia 18 en un edificio de las afueras de los Angeles Cal., en el que la última losa se hizo con concreto ligero transportado a 316 m. de altura de una sola vez.

En la colocación de un "Coferdam " para desplantar pilas de puente; en el que se necesitarón 14, 500 m<sup>3</sup> de concreto y se emplearon 3 bombas terminandose el colado en 47 horas continuas con un promedio de 103 m<sup>3</sup> por hora y por unidad.

En la transparencia 30 se observa transporte de concreto,por cable via para la fabricación de tubos de concreto.

Transporte de concreto en camiones de volteo en losas de pavimento en aeropuerto, transparencia 31; en la transparencia 32 se observa transporte y colocación pcablevía en una presa.

#### - COMPACTACION.

Colocado ya el concreto evitando que se presente alguna alteración en su calidad, se procede a su compactación, fase muy importante para un buen comportamiento de la estructura, esto es que se tenga confianza en que satisficará la resistencia para que fué proyectada, que será economica y durable.

Para compactar el concreto se pueden seguir varios métodos y su finalidad es la de obtener un concreto compacto con el mínimo de vacíos, sin segregación, lo que se puede hacer por:

1 . - Varillado

2 . - Vibra do .

El varillado se recomienda para concretos de revenimientos altos y que sean plásticos, los revenimientos con los cuales se puede aplicar este procedimiento son como mínimo 5 o 6 cm., y para el concreto vibrado de 2 a 5 cm., concretos con revenimientos menores se recomienda la vibración y en casos especiales complementada con aplicación de carga sobre la superficie, como se practica en bases para pavimentos asfálticos compactados con planchas para pavimentación y vibrado a la vez. (vibro-compacto).

La compactación del concreto por cualquiera de estos métodos, evita la formación de "panales de abeja", que son zonas que afectan la resistencia mecánica y la durabilidad.

Existen bombas de varias capacidades, pues en los años de las bombas existentes tenían una capacidad de bombeo de aproximadamente 75 m. vertical y horizontal de 300 m., con una presión máxima de 700 lbs/pulg. 2, con una producción máxima de 35 m<sup>3</sup>/h., actualmente ha evolucionado este procedimiento y se pueden alcanzar los siguientes valores, transporte vertical 425 m, presión máxima 3, 300 1 bs/pulg<sup>2</sup> y producción máxima de 130 m<sup>3</sup>/h; estos rendimientos se han alcanzado con bombas:

PUTZMEISTER TTS 14000, que emplea un motor diesel de 400 hp.

La finalidad de aplicar compactación por varillado o vibrado es fluidifica la masa de concreto por las vibraciones que se le transmiten y se consigue con ello un acomodamiento fácil y correcto de las partículas que hace que las fuerzas aplicadas sobre el elemento, se transmitan siguiendo aproximadamente la misma trayectoria que tiene la fuerza aplicada, de no suceder así, se presentará una falla prematura que generalmente es atribuida al concreto cuya calidad original ha sido alterada por un proceso de compactación defectuoso. Este proceso defectuoso se origina por lo siguiente, para vibración intensa:

1.- Introducir la barra del vibrador inclinada y deslizarla hacia el operador lo que ocasiona segregación, transparencia. (33).

2.- Demasiado tiempo de vibrado en un solo lugar, origina segregación.

3.- Pegar el elemento vibratorio a las varillas de refuerzo, esto origina movimiento en las mismas y por consiguiente falla de adherencia.

Además de la vibración interna, se puede aplicar vibración externa en moldes rígidos metálicos, este procedimiento se aplica para elementos prefabricados, traveses, columnas, tubos, etc., transparencia (33), este método puede fallar por mala distribución de los vibradores en la forma, molde, y por fugas de lechada y mortero presentando zonas sin compactar correctamente por falta de vibración, "panales de abeja".

Los vibradores pueden ser accionados por corriente eléctrica o por aire a presión, que tengan una frecuencia oscilatoria de 3, 000 a 7, 000 r.p.m.

Los vibradores de inmersión deben insertarse verticalmente, como se indica en la transparencia ( 33 ) y aproximadamente a una distancia de 45 cm. y extraerlo lentamente. En la transparencia 34 se aprecia la transportación y colocación por bombeo y vibración de concreto, y se puede ver que no son necesarios revenimientos altos para su transporte por bombeo.

La suspensión del vibrado se hace cuando la superficie del concreto, aparezca tersa y apenas desaparezca el agregado grueso; la duración del vibrado más o menos debe ser de 5 a 15 segundos para cada penetración.

En algunos casos, cuando el residente de la obra lo ordene, se podrá efectuar vibrado y revibrado pero a un tiempo que no exceda de 2 horas desde el momento en que se inició a colocar el agua al iniciar el mezclado.

Cuando se tenga expuesto el concreto durante más de 2 horas, todavía puede mezclarse el concreto a fin de evitar juntas frías, las que pueden presentar una zona de discontinuidad de esfuerzo y por consiguiente, concentración de los mismos en esa zona, originando fallas prematuras.

Transparencias 35, 36, 37, 38, y 39

Transparencia 40

El concreto se puede colocar bajo agua y ser lanzado acomodándose por impacto, en ambos casos es problema controlar su calidad por su misma naturaleza.

## 7.- TERMINADO.

La mayoría de las imperfecciones que pueden presentarse en un concreto nuevo, indudablemente que son atribuidas a una mala colocación que incluye hasta su vibración y no a una mala calidad del concreto como en la mayoría de los casos considerados .

El colado de concreto en superficies abiertas y de grande extension, como para pavimentos, para carreteras, pistas para aeropuertos y obras similares, puede presentarse una fuerte evaporación que origina un resecamiento de la mezcla - que origina dificultad en su acomodo y posteriormente aparición de fisuras en su superficie por contracción por secado, lo que es originado por vientos de alta velocidad, temperaturas altas en el aire y concreto, y humedad relativa, en la transparencia ( 43) se expone un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h., debe tomarse las precauciones necesarias para evitar la aparición de grietas plásticas .

## **8.- CURADO**

El curado del concreto, tal vez sea la etapa o fase más importante para obtener finalmente un concreto de buena calidad uniforme y satisfacer las características exigidas de resistencia, durabilidad y economía, se dice tal vez para no justificar la omisión de alguna de las condiciones expuestas y desarrolladas, pues todas son importantes y necesarias.

Cabe hacer la aclaración que en la generalidad de las obras que se ejecutan esta etapa se desatiende y se olvidan de efectuar el curado del concreto colocado, el no efectuar el curado a su tiempo trae consecuencias irreversibles que alteran la calidad del concreto y que generalmente se le atribuye a que fue originada por la mala calidad del concreto entregado, cosa falsa como se explicará más adelante. Transparencia 54.

El material de unión en el concreto, pasta de cemento-agua, es el componente activo en el concreto y tiene dos funciones principales:

- 1.- En estado plástico llenar los huecos entre las partículas de materiales pétreos que forman el concreto comunicándoles lubricación y acomodo fácil entre ellas.
- 2.- En su estado endurecido darle resistencia y durabilidad.
  - a.- La resistencia está fijada aproximadamente por las características del cemento.
  - b.- Relación agua-cemento .
  - c.- Reacciones químicas del cemento con el agua, esto es que se desarrollen totalmente o parcialmente por suspensión de ellas, a este proceso se le llama hidratación.
  - d.- La durabilidad del concreto depende de la porosidad del mismo, entre mayor poros tenga menos será la durabilidad y resistencia. La porosidad depende de la cantidad de agua no combinada que tenga y forma parte del agua que se pone para hacer la mezcla, siendo la otra parte del agua combinada. Transparencia. 55

r

En promedio el agua combinada representa el 30% y la no combinada el 70% entonces esta última al no combinarse, su acción es la de comunicar

manejabilidad y una vez conseguida queda ocupando espacios en el concreto y cuando se evapora estos están vacíos originando poros y canales por lo que si la cantidad de agua total necesaria para obtener una resistencia y manejabilidad determinada se aumenta, se alterará la resistencia el contenido del concreto y otras características ya contempladas, como la cantidad de agua combinada en función de la total no se altera, entonces los cambios en la calidad se deben a un exceso de poros y canales capilares, originados por el agua en exceso existente por no combinarse con el cemento. Los resultados de esta agua no combinada se manifiestan como:

- 1.- Disminución de resistencia
- 2.- Mayor porosidad, que origina menos durabilidad por el fácil acceso de los agentes destructivos existentes en el medio ambiente que lo rodea.

Como se dijo anteriormente el elemento de unión y digamos cementación, está representado por la pasta agua-cemento que al combinar se producen reacciones químicas dando lugar a la hidratación del cemento, momento en el cual se desarrollan geles que son ávidos de agua para su formación y después se traduce en la cementación de las partículas pétreas que posteriormente, cuando el concreto va perdiendo agua por estas reacciones endurece comunicándole la resistencia requerida. Esto que se expone es la descripción mucho muy sencilla y super extractada del fenómeno real que se desarrolla al hidratarse el cemento por lo anteriormente expuesto es necesario que la mezcla de materiales se conserve siempre húmeda, esto es que no se permita la pérdida de humedad en la mezcla, entonces debe conservarse la humedad externa lo que manifiesta que no pierde agua de combinación en su interior, además de evitar la pérdida de agua en este proceso de curado, es indispensable mantener una temperatura normal, si es diferente a 25°C debe mantenerse más o menos a esta temperatura por procedimientos especiales que no se van a considerar en este desarrollo.

Cuando el curado no se aplica correctamente y en el momento oportuno, puede originarse la formación de fisuras o grietas por un desecamiento temprano de la superficie ocasionando cambios de volumen en la masa que se traducen en el desarrollo de esfuerzos de tensión que el concreto, debido a su poca edad, no es capaz de soportar, originando entonces las fisuras o grietas, que se pueden profundizar si no se evitan mediante la reposición de humedad .

En colados de grandes superficies expuestas, se presentan con frecuencia estos fenómenos que generalmente atribuyen a la mala calidad del concreto, siendo en realidad culpa del constructor que no toma las providencias necesarias para evitarlo.

Estos fenómenos se originan por efectos de las temperaturas del aire y concreto, humedad relativa del ambiente y velocidad del viento. Transparencia 43, ocasionando evaporación superficial en el concreto. La gráfica nos proporciona un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, si el valor de la evaporación obtenida por este método es superior a 1.0 kg/m<sup>2</sup>/h, deben tomarse las precauciones para evitarlo y que no aparezcan grietas (de contracción plástica).



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**TEMA : NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-C-122-1982**

1996

3

3

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DIVISION DE EDUCACION COINYNUA

CURSOS

ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD  
DEL CONCRETO

HIDRAULICO

NORMAS OFICIAL MEXICANA  
NOM - C-1 22 - 1982

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA  
PARA

CONCRETO

EXPOSITOR :  
C.C.I. JOSE A. TENA COLUNGA

SECRETARIA DE PATRIMONIO

y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-C-122 -1982

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA  
PARA CONCRETO.

BUILDING INDUSTRY - WATER FOR  
CONCRETE.

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

C.D.U.691.32 :663'3 :628.1.034

**NORMA OFICIAL MEXICANA  
INDUSTRIA DE LA  
CONSTRUCCION AGUA PARA  
CONCRETO.**

**NOM  
C-122-1982**

**BUILDING-INDUSTRY - WATER FOR CONCRETE**

**0 INTRODUCCION**

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 elabore esta Norma Oficial Mexicana de Agua para Concreto.

**1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos para las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables que se pretendan emplear en la elaboración o curado del concreto hidráulico.

También da a conocer la acción agresiva de los diferentes tipos de agua que se enumeran en el inciso 4.

**2 REFERENCIAS**

Esta norma se complementa con las vigentes de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas.

NOM-C-1	Cemento Portland
NOM- C-2	Cemento Portland Puzolana
NOM-C-88	Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino.
NOM-C-175	Calidad para Cemento Portland de Escoria de Alto Horno.
NOM-C-255	Industria de la Construcción.- Aditivos Químicos que Reducen la Cantidad de Agua y/o Modifican el Tiempo de Fraguado del Concreto.
NOM-C-277	Agua para Concreto.- Muestreo
NOM-C-283	Agua para concreto.- Análisis

**3 DEFINICIONES**

Para mejor entendimiento de esta norma se establecen las definiciones siguientes:

3.1 Aguas puras. (Lluvia, deshielo de glaciares, granizo o nieve de algunos manantiales y pozos).

Bajo un punto de vista práctico, son aquellas cuyo grado hidrotimétrico es inferior a 6 y cuyo pH es aproximadamente 7. En general son aguas que o no tienen sustancias disueltas o las tienen en cantidad mínima y en lo particular aquellas en las que el ión calcio se encuentra en cantidades ínfimas. Estas aguas generalmente provienen de la lluvia, del deshielo de glaciares, nieve o granizo o de manantiales y pozos, de terrenos montañosos cuyas rocas son resistentes al poder disolvente del agua, tales como las porfíricas, basálticas, graníticas, etc.

### 3. 2 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, en general son de lluvia que disuelven en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) u óxidos nítricos del aire o que provienen de turberas o pantanos que por descomposición de la materia vegetal son ricas en ácidos húmicos.

### 3. 3 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.

#### 3. 3. 1 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 generalmente de los terrenos graníticos o porfíricos en los que las aguas puras, y las ácidas descomponen los feldespatos alcalinos como la Albita y la Ortosa que tienen silicatos dobles de aluminio y de un metal alcalino.

#### 3. 3. 2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).

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.

#### 3. 3. 3 Aguas cloruradas.

Son las que contienen en mayor proporción cloruros de elementos alcalinos y alcalinoterreos, se originan por la acción disolvente de las aguas puras o las ácidas que atraviesan yacimientos de Sal Gema o antiguos lechos marinos.

#### 3. 3. 4 Aguas magnesianas.

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

carbonatos en bicarbonatos; éstos últimos cuando reaccionan con el sulfato de calcio forman el sulfato de magnesio.

### 3.3.5 Aguas de mar.

Estas tienen una gran cantidad de sales disueltas aproximadamente (35 000 p.p.m. o más), en la cual predominan el cloruro de sodio, el cloruro de magnesio, el sulfato de magnesio y el sulfato de calcio; su origen se remonta al periodo terciario.

### 3.4 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 del concreto hidráulico. Estas por lo general tienen en suspensión alto porcentaje de finos del cemento y de los agregados sales solubles del cemento, de aditivos cuando se emplean éstos.

### 3.5 Aguas industriales

Estas aguas provienen de los desechos de las industrias y dependiendo de su origen pueden ser ácidas, básicas o salinas. Las mas perjudiciales para el concreto son aquellas que contienen sulfatos, sulfuros, sales amóniacas, azúcares, ácido sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, - ácido láctico, acético, fórmico u otros ácidos orgánicos y álcalis cáusticos.

### 3.6 Aguas negras

Proviene de los desagües de las poblaciones. Su composición es muy compleja y varia en función de la distancia de su punto de origen.

### 3.7 Cementos portland ricos en calcio.

Se consideran como tales los cementos portland I, II y III con contenido de cal libre en el limite tolerable y ricos en silicato tricálcico.

### 3.8 Cemento Sulforesistente

Se consideran como tales a los cementos portland puzolánico, portland de Escoria de Alto Horno, los portland tipos V y los tipos II y IV, siempre y cuando tengan bajo contenido de cal libre y aluminato tricálcico.

## 4 ACCION AGRESIVA DE LAS AGUAS

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto está en función de la ausencia de compuestos en ellas ó de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas ó en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados limites. A continuación se describe la forma en que actúan.

### 4.1 Aguas Puras

son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos cálcicos de concreto.

#### 4. 2 Aguas ácidas naturales

Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre ( $\text{CO}_2$ ) y/o ácidos húmicos que se disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.

#### 4. 3 Aguas fuertemente salinas

Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, éstas 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 de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

##### 4. 3.1 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 un ataque corrosivo con aguas de esta naturaleza ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

##### 4. 3. 2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).

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 ó 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 Candlot, que es un sulfato aluminato tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

##### 4. 3. 3 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 cemento y del concreto, y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado.

##### 4. 3. 4 Aguas magnesianas

Las aguas magnesianas que contienen sulfato de magnesio, son de las más agresivas por la gran solubilidad de éste 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.

#### 4.3.5 Agua de mar

La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece al de las aguas selenitosas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de éstos últimos su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumulación superficial de calcita, 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 forma 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 del agua de mar en los concretos simples produce eflorescencias. En el concreto reforzado o preforzado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

#### 4. 4 Aguas recicladas

Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables (ver 3. 3.1., 3. 3. 2., y 3. 3. 3. ) Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y éstos no se toman en consideración, el concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.

#### 4.5 Aguas industriales

Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son perjudiciales para el concreto ya que contienen iones sulfato ( $SO_4^{=}$ ), ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker.

#### 4. 6 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 podrian ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente y que contengan sustancias perjudiciales para el concreto dentro de los limites que se especifican en esta norma.

**Valores Característicos y Límites máximos tolerables de sales e impurezas**

Impurezas	Límites en p.p.m.	
	Cementos ricos en calcio	cementos Sulfato-resistentes
<b>Sólidos en suspensión</b>		
En aguas naturales (Limos y Arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (Finos de cemento y Agregados )	5000	35000
<b>Cloruros como CL (a)</b>		
Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puentes	400 ( c)	600 ( c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales como aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 ( c)	700 ( c)
Sulfato como $SO_4 =$ (a)	3000	3500
Magnesio como $Mg^{++}$ (a)	100	150
Carbonatos como $CO_3 =$	600	600
Dióxido de Carbono disuelto, como $CO_2$	5	3
Alcalis totales como Na +	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido )	150 (b)	150 (b)
<b>Valor de pH</b>	No menor de 6	No menor de 6.5

Notas de la tabla 1.

a.) 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.

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

c.) Cuando se use cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) como aditivo acelerante, la cantidad de éste debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla.

## 5 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 el agua de mar, deben cumplir los requisitos que aparecen en la tabla 1.

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

El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites de la tabla 1, 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.

Nota.- Cuando se sospeche que la interacción de los componentes de los ingredientes del concreto, ( agua, cemento, agregados, aditivos), puede producir resultados adversos, se deben hacer los estudios y pruebas que se estimen necesarios con la debida anticipación.

## 6 MUESTREO

La toma de muestra para verificar si el agua en cuestión, cumple con los requisitos de esta norma, estará de acuerdo con la NOM-C-277 (véase 2).

## 7 METODOS DE PRUEBA

La determinación de las impurezas de las aguas a que se refiere esta norma se debe hacer de acuerdo con los métodos que se describen en la NOM-C-283, (véase 2) o por cualquier otro método de prueba con el que se obtengan resultados con el mismo grado de confiabilidad.

## 8 BIBLIOGRAFIA

American Society for Testing and Materials 1980 Annual Book of.

Standars Part. 14 C-94 Spec. for ready mixed concrete.

Au Pied Du Mur  
Ro-ert L ' Hermite

Societe de Propagande et de Diffusion Des Technique du Batiment.

Biczoc. Concrete Corrosion 1967

British Standard Institute  
Bs 3148:80  
Water for making concrete

(Including notes on the suitability of the water).

Bureau of Reclamation. Concrete Manual 1979 U.S. Department of the interior.

Concrete and Constructional Engineering. Water for Mixina Concrete. 1947 London

Concrete Technology D. F. Orchard Contractor S Record Ltd. Printe in G.B. by F. J. Parsons limited of London 1958.

Corps of Engineers US Army Hand Book for Concrete and Cement. Requeriments for Water for Use in Mixing or Curing Concrete CRD-C-400.

Czerning W. La química del Cemento. Edición en Español. 1962.

Duriez, M. y Arrambideu. Nouveauxtraite des Materiau de la Construction VoL II

Giesebe, F.E. and G.A. Parkinson effects of variors salts in the mixing on the compressive strength of mortar. Boletin No. 2730, University of Texas Enginneering Research Series 1927.

Hormigon y aditivos. Texas. Barcelona.

Keinlogel, A. Influences on Concrete New York Frederik Ungar Publising Co.

Lea y Desch. The Chemistry of Cement and Concrete 1937.

L'Hermite.- Agua para Concreto, 1979.

Liebs,- W. Le Chance of Strength of Concrete by Using Sea Water for Mixing and making Addition Too Concrete. Bautechnik, 1949

Me Coy, W. J. Special Technical Publication 169 B. Chapter 43- Mixing and Curing Water for Concrete. Philadelphia Pa. (c) 1979

Normas de la Industria Alemana DIN 4030 y PGL 11357 - 1962.

Portland Cement Association Design And Control of Concrete Mixtures Capitulo 3 Mixing Water for Concrete pag. 19 Onceava Edición 1968. E.U.A.

NOM-C-122-1982

9/9

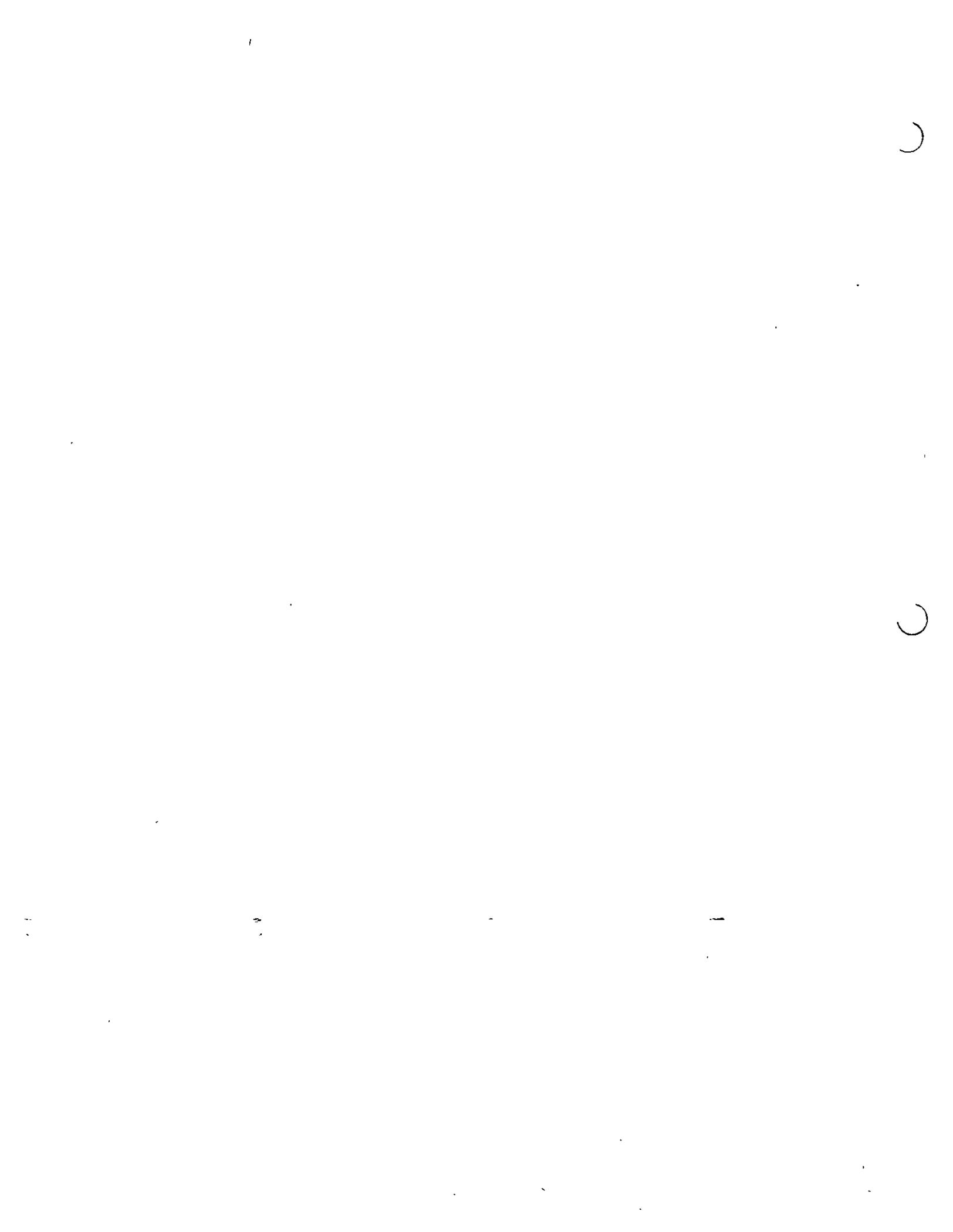
Plum, N.H., Cristrani and Nielsen Concrete Manual Boletin No. 39 Copenague Dinamarca 1944.

Secretaria de Obras Públicas. Especificaciones Generales de Construcción Parte VIII 1976.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Manual de Concreto - 1970

Steinour, H. H. Concrete Mix Water How Impure Can it Be. 1960  
Portland Cement Association Research and Development Laboratories.

Testing And Inspection of engineering. Materials third edition. H. E. Davis, G. E. Troxell C. T.  
Wiskocil Mc graw Hill book Company, Inc. N.Y. and London.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL  
CONCRETO HIDRAULICO**

**TEMA : ADITIVOS**

**EXPOSITOR: M.C.I. JOSE ANTONIO TENA COLUNGA  
1996**

C

C

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

Propiedades de Materias Primas y su influencia en el Concreto

- ADITIVOS

**Objetivo:**

El profesional de la construcción sabrá los fundamentos del empleo de aditivos y conocerá las propiedades de los aditivos mas empleados en la elaboracion del concreto hidráulico, su manejo, colocación y control

**Expositor:**

MCI. Jose Antonio Tena Colunqa

## ADITIVOS

### 1) -RESEÑA HISTORICA DE LOS ADITIVOS

Sin duda alguna la investigación y desarrollo de los aditivos comenzó paralelamente al de los cementantes hidráulicos, pues estamos ciertos que desde entonces ya existía la inquietud de aumentar o modificar en número y cantidad las características de éstos agregando algo diferente a sus componentes tradicionales.

Con ese propósito en la antigüedad se utilizaba sangre de toro con el fin de aumentar la plasticidad y resistencia de los morteros hechos con cales o cementos naturales, con la misma intención usaron claras de huevo, baba de nopal, sal, alumbre y algunas otras cosas en distintas regiones del mundo, de hecho estos fueron los precursores de los aditivos. El descubrimiento del cemento Portland es relativamente reciente y su origen se sitúa alrededor de 1850, poco tiempo después y con el fin de resolver las irregularidades de sus tiempos de fraguado, los albañiles franceses añadian al cemento crudo a pie de obra, un poco de yeso en el momento de amasarlo; esta práctica que dió buenos resultados, fue adoptada por los fabricantes de cemento entre los años de 1875 a 1890, quienes optaron por adicionar el yeso en fábrica. En 1855 fue patentada la adición de cloruro cálcico a los concretos, Candlot, en 1888 hizo investigaciones acerca de este producto y demostró que según la dosis, podía ser utilizado como retardador del fraguado; también investigó el empleo de agua de mar para el mezclado del concreto.

Las primeras inquietudes de los usuarios del concreto fueron las de poder modificar el tiempo de fraguado y sobre todo poder acelerarlo, así como la de hacer concreto menos permeable ya que el cemento de aquella época era poco fino, aún no se habían desarrollado métodos para el cálculo de la composición y consolidación en obra eran bastante rudimentarios dado que el vibrado aún no se practicaba, sin embargo, la práctica de adicionar ciertas sustancias, logró reducir la permeabilidad de los concretos razón por la que los acelerantes y los hidrófobos másicos se desarrollaron al mismo tiempo. Hacia 1395, Candlot en Francia y Dyckerhof en Alemania iniciaron la adición de cal grasa con el fin de mejorar la plasticidad; algo más tarde, en 1906, en los E.E.U.U. hicieron lo mismo para la

Construcción de un depósito impermeable. Feret a principio de este siglo ensayó un gran número de productos finamente molidos e inertes, que al contacto con el agua se hinchaban y estudió la adición de aceites de linaza y minerales y en una publicación del año 1926, citaba la acción de productos, tales como: el alumbre, el jabón potásico, la caseína, la colofaina, las materias albuminosas y otras.

Igualmente, a principios de este siglo, se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad y se empezaba a añadir polvos finos para colorear el concreto (azul ultramar, ocre,...). Los fluosilicatos se emplearon en 1905 como endurecedores de superficie y se investigó la acción retardadora del azúcar, de la cual en un artículo publicado en Marzo de 1909 en la "Revue des Materiaux de Construction", se habló de la influencia del azúcar sobre el fraguado. Sin duda, un estudio más profundo de la literatura de la época, nos revelaría que desde entonces, la mayor parte de las adiciones posibles fueron intentadas cuando menos en el laboratorio.

La comercialización de algunos productos para mejorar algunas de las cualidades del concreto data de 1910, se trataba de hidrofóbos, de acelerantes del fraguado o de hidrófugos-aceleradores del fraguado, que se añadían a los concretos destinados a la fabricación de depósitos de agua, tuberías, piscinas, etc.; así como a la confección de morteros destinados a la reparación de obras subterráneas de mampostería cuyas juntas se hubiesen deteriorado, entre las cuales se puede citar los trabajos de cinco túneles de la línea de San Gotardo. El Rieselguhr o tierra de infusorios se empleó por primera vez en 1925 en el concreto. En los E.E.U.U. los plastificantes fueron comercializados hacia 1935 en Chicago, los agentes inclusores de aire se descubrieron en los E.E.U.U. en 1939 y su utilización en Europa no empezó hasta después de la segunda guerra en 1947. En cuanto a los retardantes, aunque los efectos de ciertos productos ya eran conocidos, su comercialización tardó algún tiempo. Rengade demostró en 1929, que mezclando un cemento sobre una lámina de zinc podían introducirse iones de Zn, que actuaban como un retardante de fraguado poderoso (1 por ciento de Zn respecto al peso del cemento, provoca un retardo importante)~ atribuyó a esta circunstancia, las diferencias de los tiempos de fraguado hallados en diferentes laboratorios, en los que el mezclado en unos y en otros no se hacía en mesas forradas en placas de zinc. Durante la última guerra mundial, los estudios hechos en Alemania condujeron a la utilización de un 1% de ácido fosfórico para retardar los concretos, ya que era necesario poder interrumpir los colados de las obras monolíticas de concreto durante los ataques aéreos, en esa misma época se presentó el caso de concreto que se inutilizó por la adición de azúcar en polvo que produjo un retardo indefinido.

Finalmente, de doce años a la fecha, como consecuencia de la expansión de la industria de la construcción, el número de aditivos y productos de los mismos se ha multiplicado, sus formulaciones cada vez son más adecuadas para la satisfacción de las necesidades de la construcción moderna y recientemente a esta tecnología se

## ADITIVOS

ha incorporado la petroquímica con la inclusión de los polímeros, de tal suerte, que en la actualidad no hay país en el mundo que no los emplee.

### CLASIFICACION Y NORMALIZACION DE LOS ADITIVOS

Hace veinte años, el Instituto Americano del Concreto (A.C.I.) publicó el primer reporte del Comité 212, sobre los estudios e investigaciones de miles de muestras de productos que se encontraban en el mercado de E.E.U.U. y en él se hizo un primer intento de agruparlos según sus propiedades; diez años después, en 1954 dicho Instituto publicó un nuevo informe del citado comité, donde se hacía referencia sobre la composición de los diferentes tipos de aditivos, lo cual redujo considerablemente la variedad de productos que se ofrecían en venta en el mercado de la construcción. En noviembre de 1963, el mismo organismo, publicó un tercer reporte mucho más completo, donde los aditivos se clasificaban con base en el tipo de sustancias que los constituyen o los efectos que producen en el concreto.

Durante mucho tiempo las opiniones de los técnicos estuvieron muy divididas respecto a la conveniencia del empleo de aditivos; hubo quienes se opusieron y encabezaron campañas en contra de ellos con cierta virulencia, sin embargo, en 1962 tanto la "American Society For Testing And Materials" (ASTM), como el "Bureau of Reclamation", establecieron las bases para la aprobación y uso de aditivos en el concreto.

Según la A.S.T.M. y el A.C.I., un aditivo es " un producto o sustancia distinto a los agregados, cemento o agua, que se usa como ingrediente del concreto y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante su mezclado ".

### CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS.

Dadas sus características, composición, aspecto y efecto en el concreto, los aditivos pueden clasificarse en muchas formas, razón por la cual hasta la fecha no existe en el mundo un criterio unificado. A continuación y a fin de ejemplificar este problema, se describen las clasificaciones más conocidas.

M. Joissel propone esta clasificación en la que los grupos se establecen tomando en cuenta su comportamiento respecto al agua de mezclado:

Aditivos insolubles. Aditivos solubles. Aditivos tensoactivos (que no son ni completamente solubles ni totalmente insolubles).

Para otras clasificaciones, se toma en cuenta el efecto o propiedades que los aditivos confieren al concreto fresco o endurecido, tal es el caso de la clasificación Alemana. En efecto, las directrices alemanas para el ensayo de aditivos para concreto de Enero de 1965 los divide en 6 grupos.

## ADITIVOS

Plasticantes (abreviatura ALEMANA: BV). Incluidores de aire (abreviatura ALEMANA: LP). Hidrófobos (abreviatura ALEMANA: DM). Retardantes (abreviatura ALEMANA: VZ). Acelerantes (abreviatura ALEMANA: BE). Aditivos para lechadas de inyección (abreviatura ALEMANA: EH).

En Francia existen actualmente dos clasificaciones: la de la "Comisión Permanente Des Liants Hidráuliques Et Des Adjuvants Du Béton" (COPLA), y la del proyecto de norma francesa, no obstante, "El Syndicat National Des Adjuvants Et Mortiers" (SYNAD), ha clasificado a los aditivos de una manera un poco diferente a los organismos antes mencionados y establece los siguientes grupos:

AGENTES QUE MODIFICAN EL CONTENIDO DE AIRE: - Plasticantes-reductores de agua. - Incluidores de aire. - Excluidores de aire. - Generadores de gas. - Agentes de retención de agua. - Fluidificantes-retardantes.

AGENTES QUE MODIFICAN EL FRAGUADO O EL ENDURECIMIENTO:

- Acelerantes del endurecimiento. - Acelerantes del fraguado. - Fluidificantes retardantes. - Fluidificantes acelerantes.

PRODUCTOS PARA INYECCIONES DE DUCTOS DE POSTENSADO:

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS:

- Anticongelantes - Antiheladizos. - Anticongelantes Bivalentes (Anticongelantes-Antiheladizos). - Hidrófugos de masa.

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES MECANICAS:

Como se puede ver en estas clasificaciones de carácter híbrido se encuentran los mismo aditivos, razón por la cual sería útil poder establecer una clasificación común para todos los países, con este propósito un grupo de trabajo de la "Reunión Internationale Des Laboratoires D'Essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Construtions", (RILEM), en 1967 propuso la clasificación siguiente:

AGENTES QUE MODIFICAN LA REOLOGIA DE LOS MORTEROS Y CONCRETOS FRESCOS:

- Reductores de agua. - Incluidores de aire. - Reductores de aire y de arrastre de aire. - Polvos minerales finamente molidos para plastificar. -agentes floculantes o espesantes. agentes de retención de agua.\*

ADITIVOS

AGENTES QUE MODIFICAN EL CONTENIDO DEL AIRE EN MORTERO Y CONCRETOS:

- Incluidores de aire. - Desaireadores o antiespumantes. - Generadores de gases. - Generadores de espuma.

AGENTES QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y

- Retardantes de fraguado. - Acelerantes de fraguado. - acelerantes de endurecimiento.

**AGENTES GENERADORES DE EXPANSION EN MORTEROS Y CONCRETOS:  
AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS.**

- Mejorando la resistencia a las heladas.
- Mejorando la resistencia a la congelación (anticongelantes).
- Reduciendo la penetrabilidad del agua.
- Hidrófobos.

**AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES MECANICAS:**

**AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES QUIMICAS:**

**AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES BIOLÓGICAS:**

En los Estados Unidos de Norteamérica el "American Concrete Institute" (ACI), en el Informe de su Comité No. 212 de 1963, da una lista de 20 razones importantes para las que se usan los aditivos, que es en efecto, una clasificación funcional de ellos. Dicha lista se consigna a continuación:

1. Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
2. Acelerar la velocidad de resistencia a edades tempranas.
3. Aumentar la resistencia.
4. Retardar o acelerar el fraguado inicial.
5. Retardar o reducir el desarrollo de calor.

Modificar la velocidad o aptitud de sangrado o ambos.

7. Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo .
8. Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.

## ADITIVOS

9. Reducir el flujo capilar del agua.
10. Reducir la permeabilidad a los líquidos.
11. Para producir concreto celular.
12. Mejorar la penetración y el bombeo.
13. Reducir el asentamiento, especialmente en mezclado para rellenos.
14. Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas, tabes, o para rellenar ductos de cables de concreto postensado o los vacíos en agregado precolado.
15. Aumentar la adherencia del concreto y el acero.
16. Aumentar la adherencia entre el concreto viejo y nuevo.
17. Producir concreto o mortero de color.
18. Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
19. Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
20. Reducir el costo unitario del concreto.

Por otra parte, el comité C-9 de la "American Society for Testing and Materials" en Junio de 1963 produjo lo que actualmente es la especificación ASTM C 494 "Aditivos Químicos para Concreto"; en ella, se clasifican ciertos aditivos químicos en términos de su función y establecen los requisitos que deben satisfacer. Dicha clasificación es la siguiente:

TIPO A: Reductor de agua. TIPO B: Retardante. TIPO C: Acelerante. TIPO D: Reductor de agua y retardante. TIPO E: Reductor de agua y acelerante.

Posteriormente, en 1982 esta norma fue modificada para incluir a los aditivos superfluidizantes o reductores de agua de alto rango, correspondiéndoles los siguientes tipos:

TIPO F: Reductor de agua de alto rango. TIPO G: Reductor de agua de alto rango y retardante.

Aparte de las especificación antes mencionada, existen otras que son usadas ampliamente y cubren casi en su total la mayoría de los productos comerciales que actualmente hay en el mercado dichas especificaciones son:

## ADITIVOS

ASTM C 98	Cloruro de calcio.
ASTM C 260	Aditivos inclusores de aire.
AASHO M 154	Aditivos inclusores de aire.
CRD C 13	Aditivos inclusores de aire.
ASTM C 618	"Fly-Ash" y puzolanas naturales o calcinadas
CRD-C 262	Puzolanas.
ASTM C 87	Aditivos químicos.
USBR	Aditivos reductores de agua y para controlar el fraguado.

En la Republica Mexicana hasta la fecha la clasificación aceptada es la que establece el "American Concrete Institute" ACI. sin embargo la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, para normar dichos productos, ha publicado las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

- N-M C - 54-71 Norma oficial de muestreo de aditivos para concreto.
- NOM C - 90-81 Método de prueba para aditivos expansores y estabilizadores de volumen.
- NOM C - 117-78 Aditivos estabilizadores de volumen de concreto.
- NOM C - 140-78 Aditivos expansores de concreto.
- NOM C - 199-71 Nomenclatura de aditivos químicos para concreto
- NOM C - 200-78 Calidad para aditivos inclusores de aire para

## ADITIVOS MAS COMUNMENTE EMPLEADOS

### Aditivos Reductores de Agua :

Permiten una reducción en la cantidad de agua de mezclado, manteniendo la misma trabajabilidad resultando en una mayor resistencia del concreto.

### Aditivos Superfluidizantes o Reductores de Agua de Alto Rango :

Son compuestos orgánicos que transforman una mezcla seca en una masa de libre flujo. Se emplean ya sea para facilitar la colocación del concreto bajo condiciones difíciles o para reducir el contenido de agua en la mezcla de concreto para incrementar su resistencia o bien en concretos autonivelantes o de muy alta resistencia.

### Aditivos Acelerantes :

Provocan un curado mas rápido del concreto.

### Aditivos Retardantes:

Retardan el fraguado, permitiendo un mayor lapso para trabajar con el concreto en estado plástico.

### Aditivos Inclusores de Aire:

Incrementan la trabajabilidad del concreto fresco, reducen el daño de la congelación y deshielo y empleado en altas concentraciones, la fabricación de concretos celulares.

## **ADITIVOS**

### **Cenizas Volantes (Fly-Ash) :**

Un polvo fino deshecho de plantas que consumen carbón, incrementa la resistencia del concreto, reduce su permeabilidad, aumenta la resistencia al ataque de sulfatos, reduce la temperatura de hidratación, el contenido de agua de mezclado y mejora la bombeabilidad y trabajabilidad del concreto.

### **Humo de Sílice (Silica Fume) :**

También conocida como Microsilica, es un polvo que es aproximadamente 100 veces más fino que el cemento Portland, compuesto principalmente por dióxido de silicio. Al añadirse a la mezcla, se puede emplear para fabricar concreto de muy alta resistencia con una muy baja permeabilidad.

### **Escoria de Alto Horno :**

Es un subproducto de la manufactura del acero que puede mejorar la trabajabilidad del concreto, aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad, disminuir el calor de hidratación y mejorar la resistencia a los sulfatos.

### **Puzolanas :**

Son varios materiales naturales o artificiales que pueden reaccionar con el Hidróxido de Calcio en el concreto fresco para formar compuestos cementantes; son empleados para propósitos tales como reducir el calor de hidratación, disminuir la reactividad del concreto con agregados que contienen sulfatos o para mejorar la trabajabilidad del concreto.

### **Inhibidores de la Corrosión :**

Son empleados para reducir la corrosión del acero de refuerzo en estructuras expuestas a sales descongelantes u otros químicos que provocan la corrosión.

### **Aditivos Fibrosos :**

Son fibras cortas, usualmente de vidrio, acero y polipropileno, que se añaden a la mezcla para actuar como microrefuerzo. Su empleo más común es para la reducción de la contracción plástica que ocurre durante el curado de losas. Las fibras de vidrio se añaden también para producir concreto reforzado con fibra de vidrio, en la fabricación de paneles de concreto.

### **Agentes Colorantes :**

Son agentes y pigmentos empleados para alterar y controlar el color de concretos donde la apariencia es importante.

**BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA**

**INFORME DEL COMITE 212 DEL ACI. ADITIVOS PARA  
CONCRETO GUIA PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS EN  
EL CONCRETO. IMCYC**

# ADITIVOS

INTRODUCCION

TIPOS DE ADITIVOS

GUIA GENERAL EN EL EMPLEO DE  
ADITIVOS

CONCLUSION

ADITIVOS

## TIPOS DE ADITIVOS

### CLASIFICACION

- Por su función
- Por su composición

### ACI

- 1 Acelerante :  
(fraguado / instantáneo ).
- 2 Retardantes :  
( integrantes / de superficie )
- 3 Inclusores de aire.
- 4 Generadores de gas.
- 5 Materiales cementantes.
- 6 Puzolanas.  
( naturales (sin tratamiento o actividad) / sintética (fly-ash))
- 7 Inhibidores de expansión provocada por álcalis y materiales reactivos.
- 8 Reductores de permeabilidad y absorción  
(integrantes (repelencia,compuestos insolubles,polvos finamente molidos)/de superficie,cop,insolubles membranas)).
- 9 Agentes mejoradores de la trabajabilidad :  
(dispersantes / densificadores )
- 10 Agentes de empaque y relleno :  
(estabilizadores de volumen ).
- 11 Varios :  
(combinaciones/endurecedores de superficies (químicos,metalicos,minerales)/membranas de curado(parafinas,plasticos) / compuestos adhesivos (asfaltos,plásticas,epóxicos)).

ADITIVOS

## TIPOS DE ADITIVOS

### ASTM C 494 : " ADITIVOS QUIMICOS PARA CONCRETO "

Tipo A : Reductor de agua.

Tipo B: Retardante.

Tipo C: Acelerante.

Tipo D: Reductor de agua y retardante.

Tipo E: Reductor de agua y acelerante.

Tipo E: Reductor de agua y acelerante.

Tipo F: Reductor de agua y acelerante.

Tipo G: Reductor de agua de alto rango y retardante.

### NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

NOM C-54-71 Norma oficial de muestreo de aditivos para concreto.

NOM C-90-81 Método de prueba para aditivos pexansores y estabilizadores de volumen.

NOM C-117-79 Aditivos estabilizadores de volumen de concreto.

NOM C-140-78 Aditivos expansores de concreto.

NOM C-200-78 Calidad para aditivos inclusores de aire para concreto.

NOM C-255-78 Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y modifican el tiempo de fraguado.

NOM C-298-80 Aditivos minerales-Determinación de la efectividad para prevenir una expansión del concreto debido a la relación alcalis - agregados.

NOM C-313-91 Clorantes para concreto.

TIPOS DE ADITIVOS  
RETARDANTES

**COMPUESTOS :**

Gluconatos, ácidos lignosulfónicos y sus sales, ácidos carboxílicos hidroxilados, ciertos almidones, ácidos mícico y adipico.

**INCREMENTA O BENEFICIA**

En estado plástico :

- tiempo de fraguado y endurecimiento
- proceso de cristalización.
- resistencia a cortas edades

En estado endurecido :

- resistencia a altas edades
- cambios volumétricos
- resistencia a la congelación / deshielo a edades posteriores
- resistencia y durabilidad
- susceptibilidad a expansiones por reacciones Álcali - Agregado
- aumento notable en rigidez

**DECREMENTA O AFECTA**

En estado plástico :

- disminuye sangrado

En estado endurecido :

- poca resistencia a congelaciones / deshielo a cortas edades

**USOS :**

- a) Compensar efectos de temperatura en climas cálidos.
- b) Hacer colados continuos sin juntas frías,
- c) Transportar concreto a distancias considerables sin pérdida de consistencia.
- d) Reducir peligro de agrietamiento en colados de concreto en grandes masas.
- e) Facilitar el bombeo con impulso neumático.
- g) Acabados aparentes.
- h) Obtención de concretos más estables volumétricamente en estructuras.

**ALTERNATIVAS POSIBLES :**

- 1) Empleo de cementos de bajo calor de hidratación (tipos II,IV,Puzolánicos,Escorias de alto horno ).
- 2) Abatir temperaturas del concreto dentro de ciertos límites.
- 3) Empleo de aditivos.
- 4) Combinaciones.

**TIPOS DE ADITIVOS  
AGENTES REDUCTORES DE AGUA  
Y  
MEJORADORES DE LA TRABAJABILIDAD**

**TIPOS :**

- 1) Densificadores
- 2) Incluidores de aire.
- 3) Fluidificantes.
- 4) Superfluidizantes.

**COMPUESTOS :**

- 1) Acidos carboxilicos hidroxilados.
- 2) Jabones de resinas o de alcalino (NaK) ; lignosulfato (NaK), sulfonato de alquitran.
- 3) Sales de ácidos lignosulfonicos , modificadores o derivados de ellas .
- 4) Condensados de formaldehído (nattfen o melamina ) sulfonados y lignosulfanatos modificados.

**INCREMENTA O BENEFICIA**

**En estado plástico :**

- trabajabilidad
- disminución de la fricción en la mezcla 1
- inclusión de aire 2,3
- desarrollo de resistencia 1,3,4
- reducción o eliminación del sangrado 2,3,4

**En estado endurecido :**

- resistencia a la compresión 1
- resistencia a la flexocompresión
- resistencia a la congelación / deshielo 1,2,3
- resistencia a la abrasión
- modulo de elasticidad
- permeabilidad, durabilidad

**DECREMENTA O AFECTA**

**En estado plástico :**

- sangrado 1
- requerimiento de agua 1
- tiempo de revenimiento 4
- ligera disminución en el calor de hidratación 1

**En estado endurecido :**

- resistencia menor a las 24 hrs. 1
- mayor contractación 1,3,4
- mayor flujo plástico / crrep) 1,3,4

**USOS :**

- a) Aumentar trabajabilidad sin aumentar consumo de cemento, agua o relación A/C.
- b) Reducir consumo de agua con incremento de resistencia.
- c) Economizar cemento.
- d) Mejorar durabilidad.
- e) Fabricar concretos superfluidizados o alta resistencia y gran trabajabilidad.

