



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

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

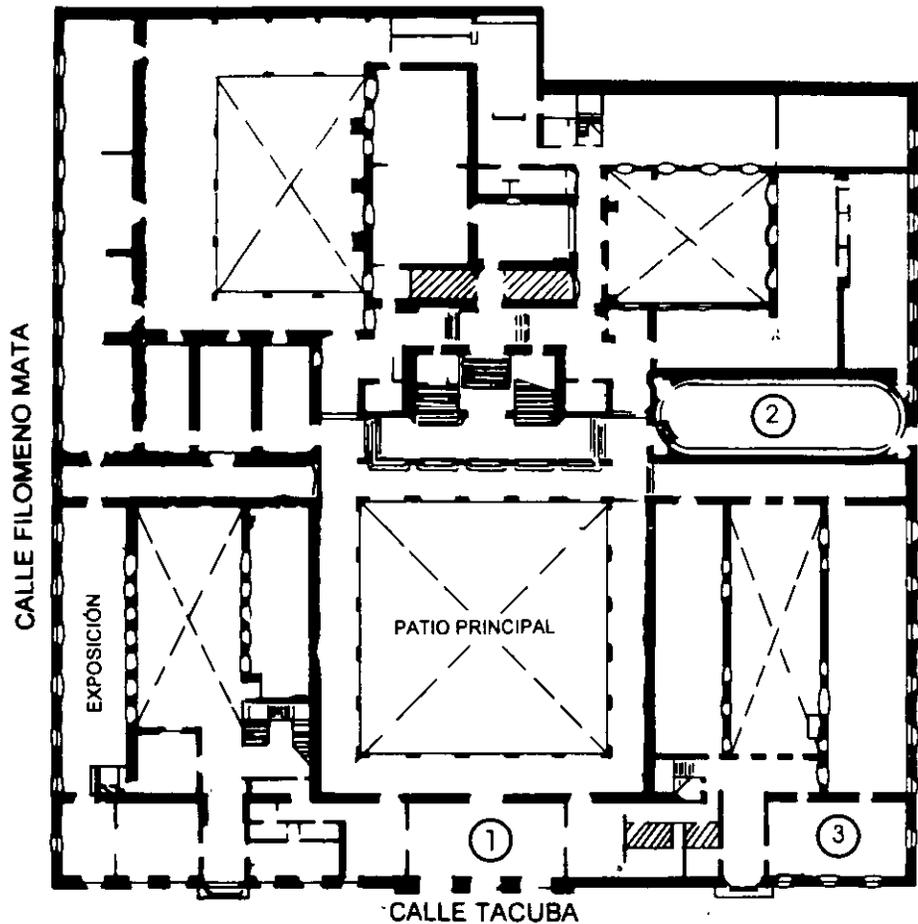
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

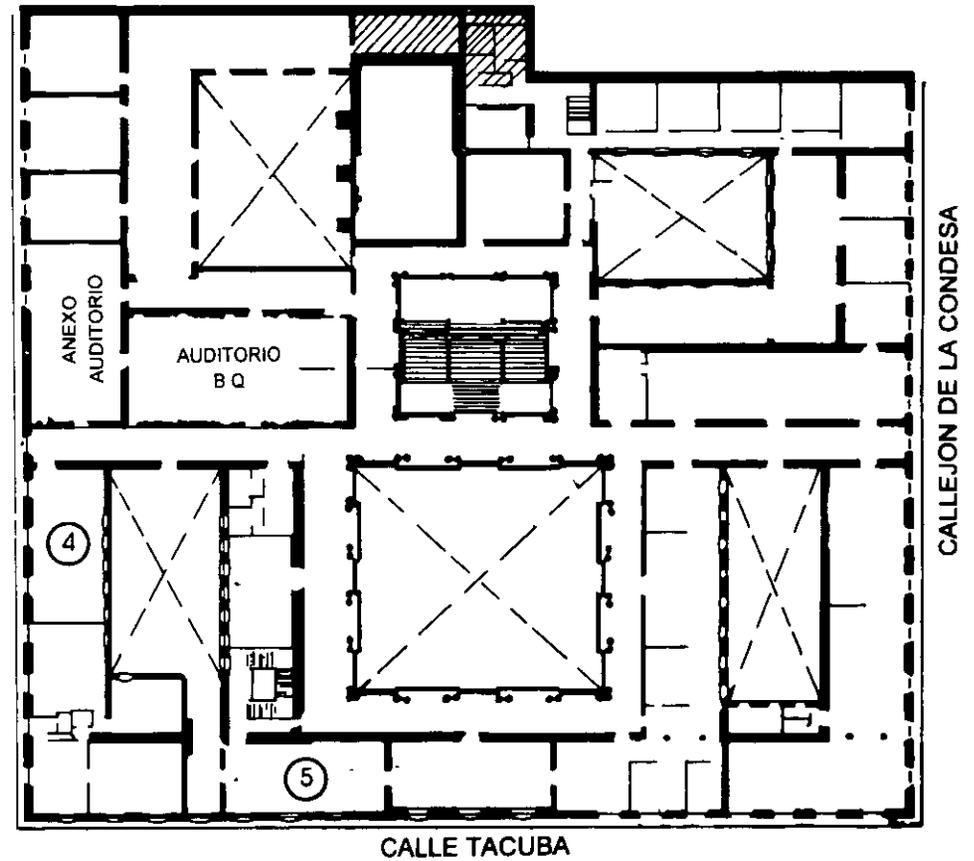
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

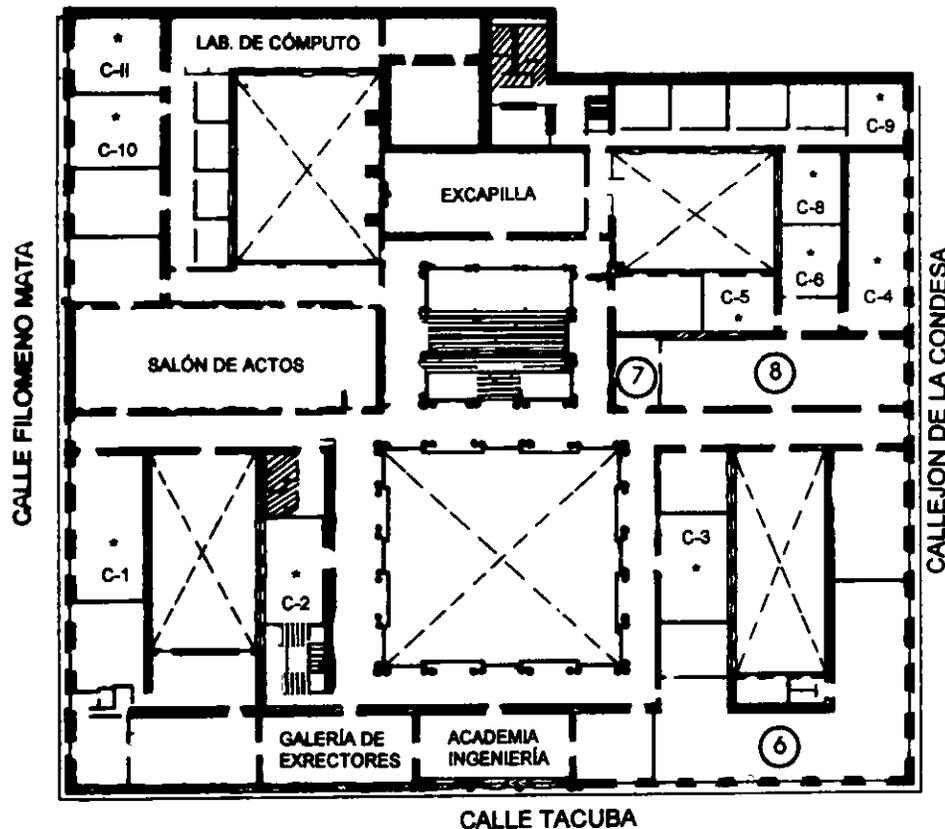


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERIA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





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

CURSOS ABIERTOS

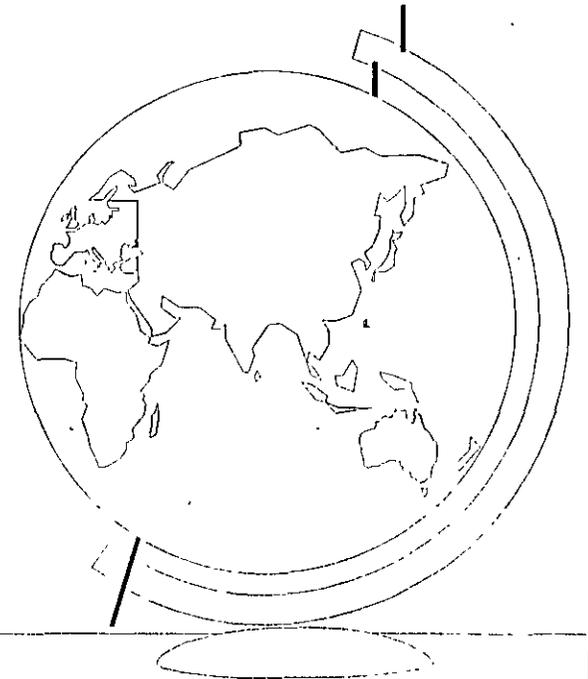
**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

**DURABILIDAD DEL CONCRETO
(PARTE 1)**

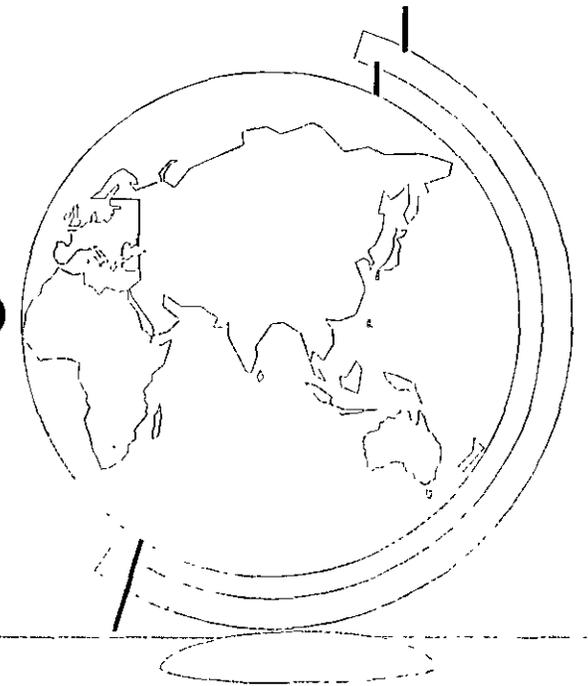
**CONFERENCISTA
ING. EMILIO ZAMUDIO CINTORA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

DURABILIDAD DEL CONCRETO



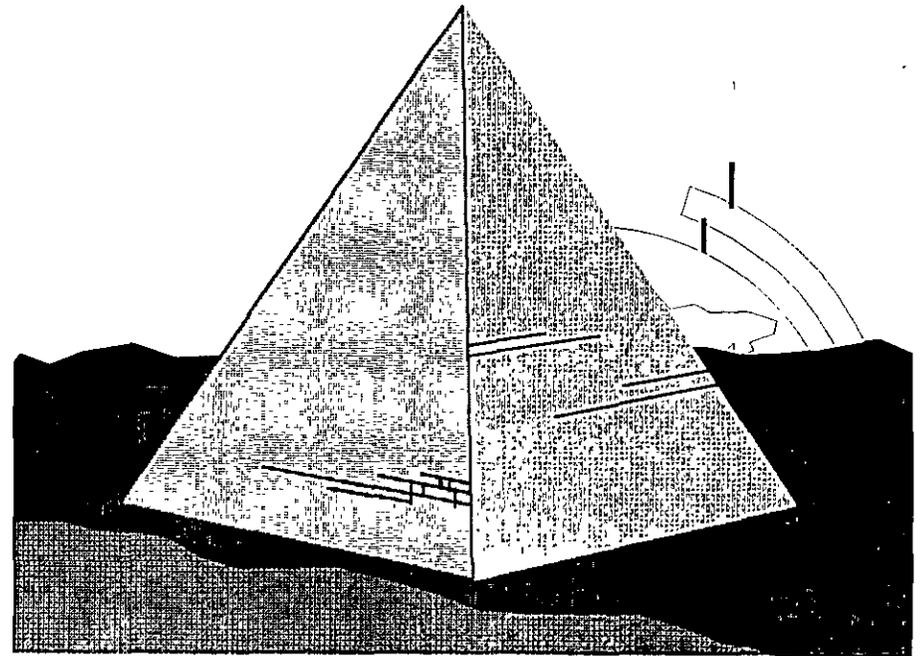
CONTENIDO

- ◆ Definiciones
- ◆ Actualidad y complejidad del tema
- ◆ condiciones de exposición y servicio
 - Bajas temperaturas ambientales
 - Altas temperaturas ambientales
- ◆ Ataque de los sulfatos
- ◆ Corrosión del acero de refuerzo
- ◆ Acciones abrasivas
- ◆ Reacciones álcali-agregado

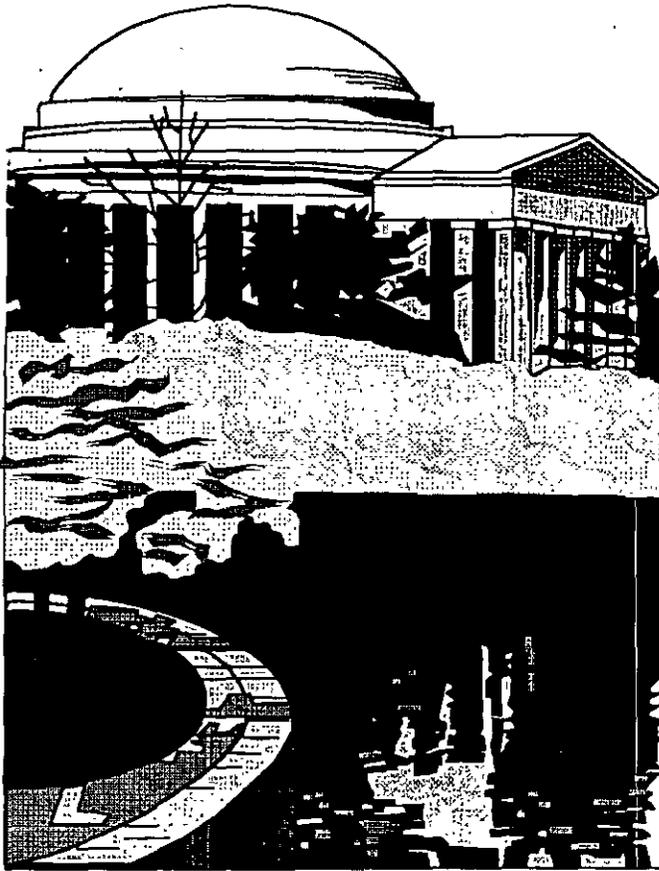


Aspecto general

- ♦ La durabilidad de un material es el atributo que lo identifica con el tiempo que puede prestar el servicio requerido en forma satisfactoria.



Durabilidad del concreto

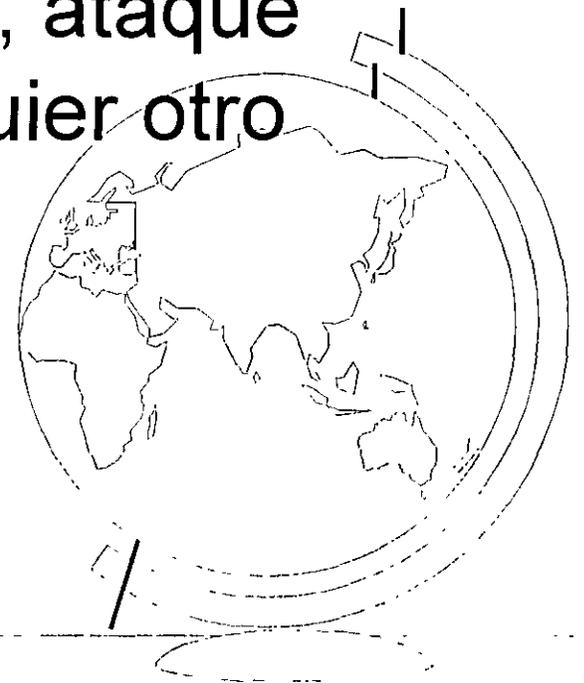


- ♦ la durabilidad de una estructura de concreto puede ser evaluada en función de su capacidad para resistir las acciones deteriorantes derivadas de las condiciones de exposición y servicio.



Durabilidad ACI 201

La durabilidad del concreto hecho con cemento portland la define como su habilidad para resistir las acciones de intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.



Actualidad del tema

- ◆ Estructuras que llegaron al término de su vida útil
- ◆ Se diversifica el uso del concreto
- ◆ Nuevas aplicaciones y exigencias
- ◆ Mayor interés por la economía que por la calidad
- ◆ Estructuras de concreto deterioradas prematuramente sin explicación
- ◆ Interés global por la durabilidad

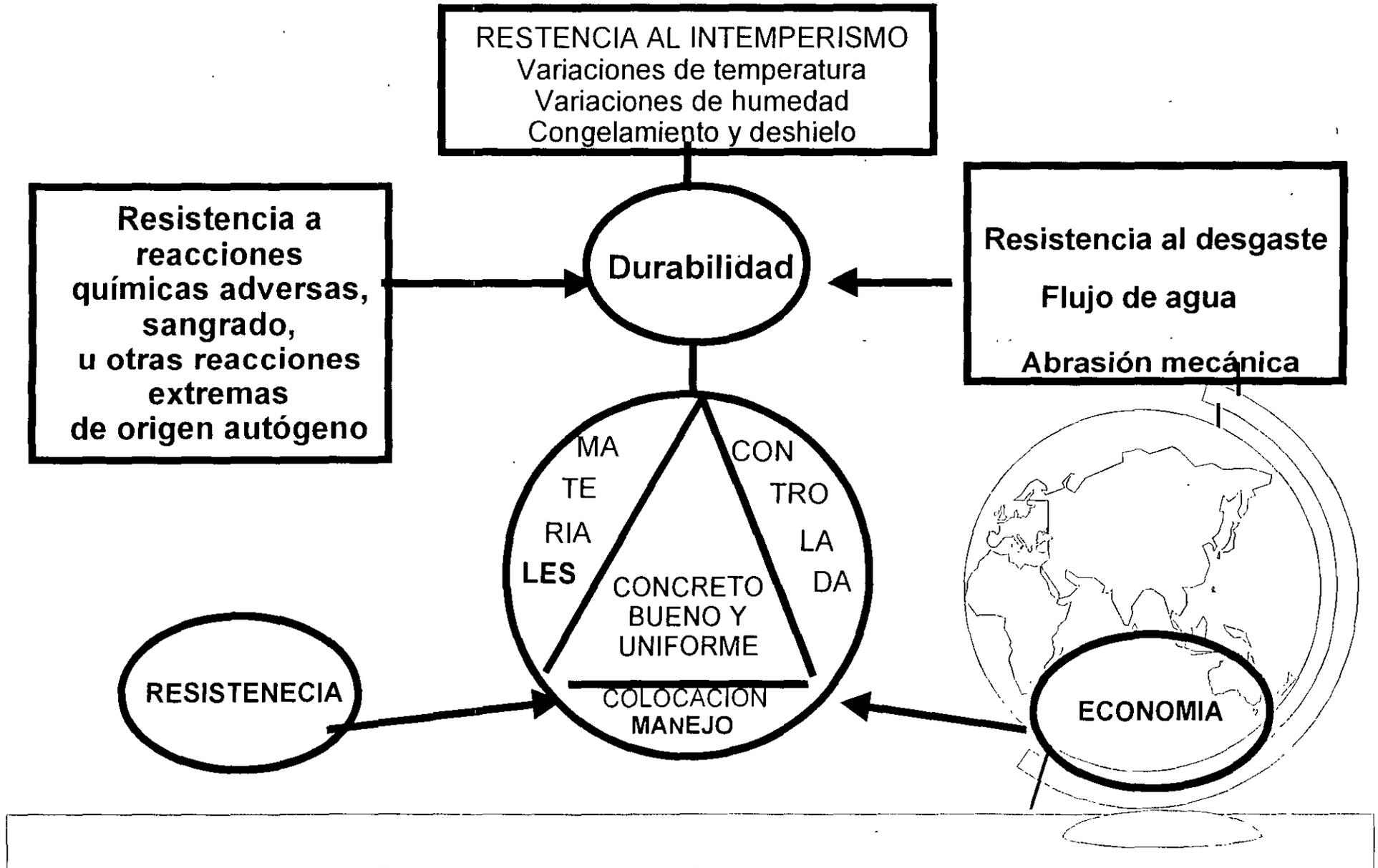


Complejidad del tema

- ◆ Evaluación anticipada de exposición y servicio
- ◆ Proyecto estructural y funcional
- ◆ Redacción de especificaciones
- ◆ Uso de concreto de durabilidad intrínseca
- ◆ Ejecución correcta de la obra
- ◆ protección y conservación
- ◆ Seguimiento operativo y retroalimentación



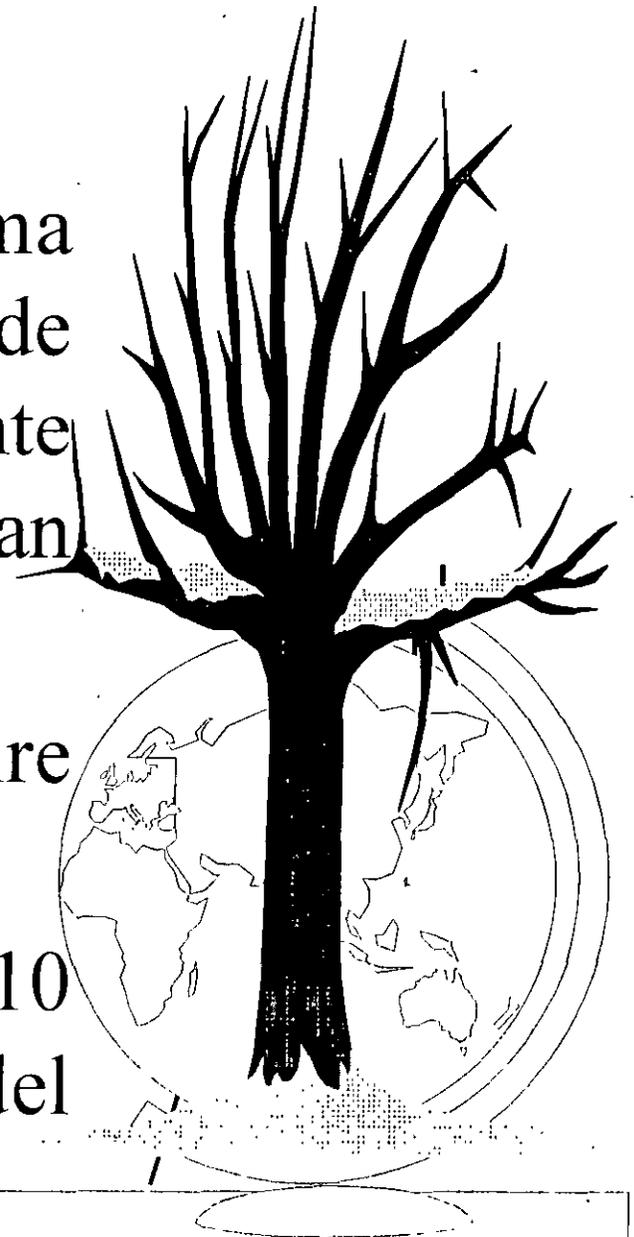
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCION DE UN BUEN CONCRETO



Bajas temperaturas

El comité ACI 306 define como clima frío, para fines de la ejecución de colados de concreto, cuando durante 3 días consecutivos se presentan estas dos condiciones:

- ♦ La temperatura media diaria del aire es menor de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ♦ La temperatura del aire no excede $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante más de la mitad del tiempo en 24 hr



Regiones con riesgo de congelación

- ◆ Alto riesgo en el estado de Chihuahua en la porción de la Sierra Madre Occidental
- ◆ Moderado riesgo en: Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Durango y Zacatecas
- ◆ Leve y nulo riesgo en el resto de la República



Fabricación del concreto en clima frío

- ◆ Diseño de la mezcla de concreto apropiada
 - Cementos tipo I, II ó III
 - Agregados que cumplan con NMX C 111
 - Aditivos acelerantes e inclusores de aire
 - relación agua/cemento (0.45 a 0.50)
- ◆ Elaboración, colocación y mantenimiento del concreto a la temperatura adecuada
- ◆ Remoción de la cimbras a la edad pertinente



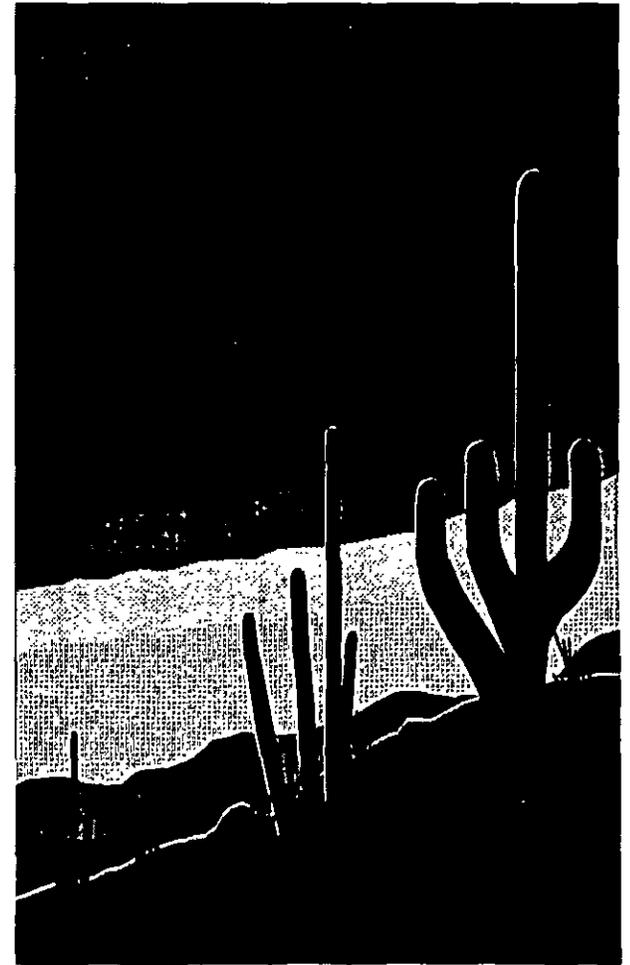
Altas temperaturas ambientales

El comité ACI 305 define el clima caluroso como “cualquier combinación de alta temperatura del aire, baja humedad relativa y velocidad del viento, que tiende a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido, o bien conduce a propiedades anormales”



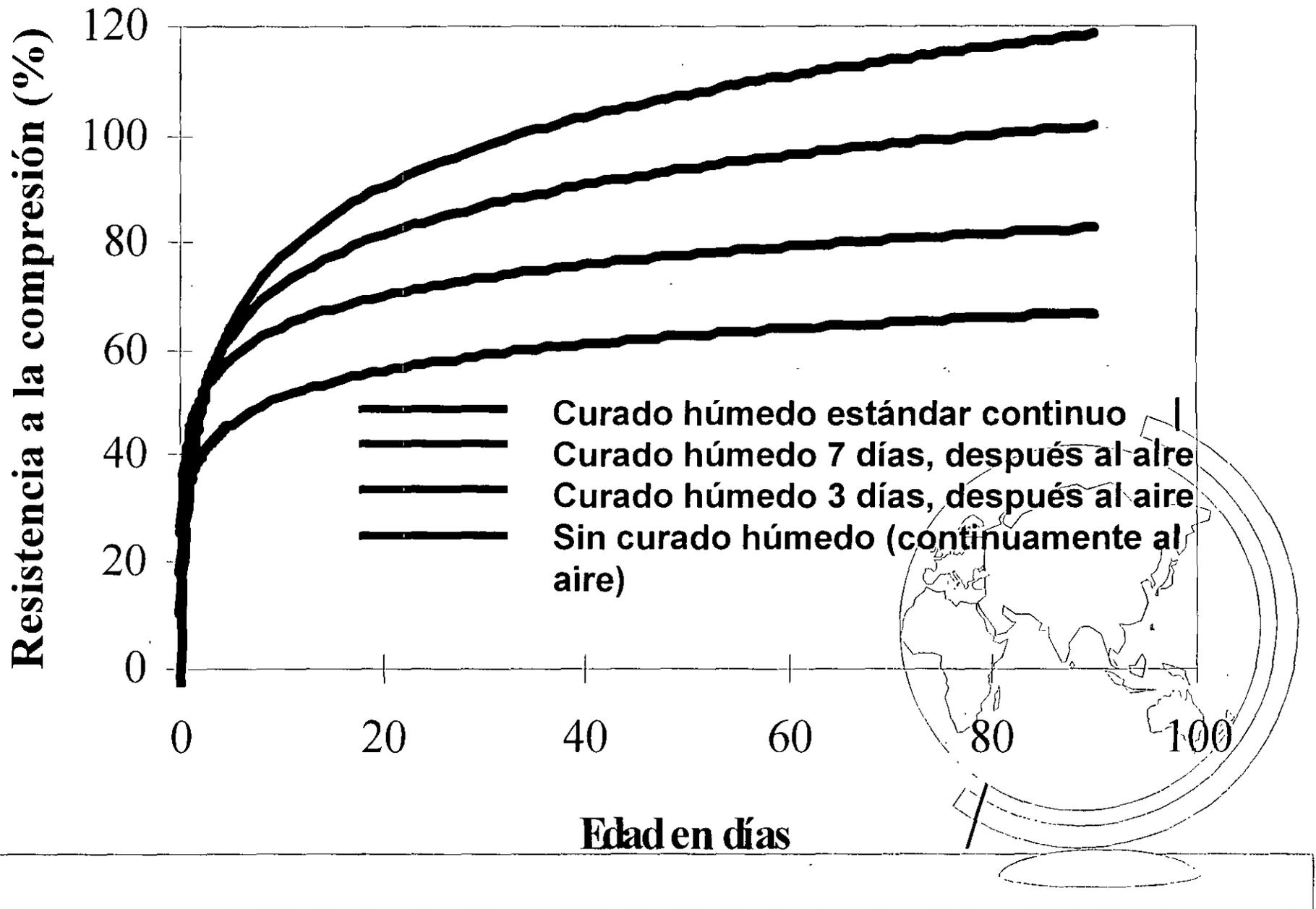
Concreto en clima caluroso

- ◆ Alta temperatura del ambiente
- ◆ Alta temperatura del concreto
 - Concreto masivo (23 °C)
 - Concreto semimasivo (27 °C)
 - Concreto normal (32 °C)
- ◆ Baja humedad relativa
- ◆ Velocidad del viento
- ◆ Radiación solar



Velocidad de evaporación crítica (1kg/m²/h)

DESARROLLO DE RESISTENCIA



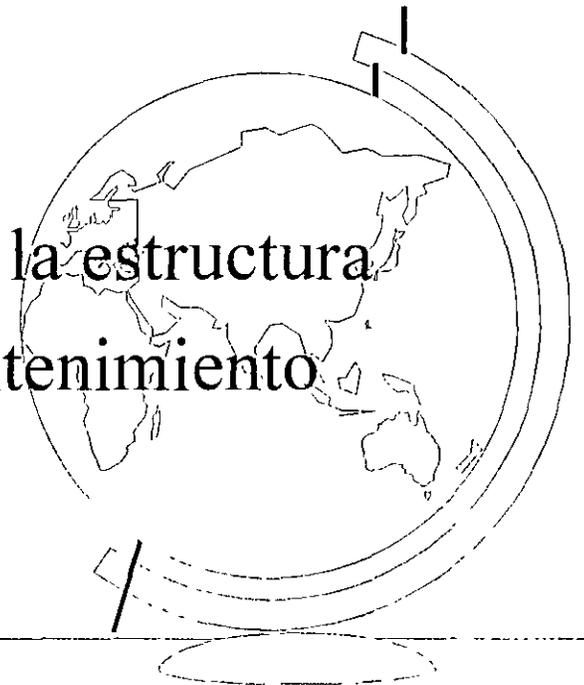
Efectos perjudiciales

- ◆ La hidratación del cemento
 - Desarrollo de resistencia
 - Curado
 - Tiempo de fraguado
- ◆ La evaporación del agua
 - Mayor demanda de agua durante el mezclado
 - Pérdida energética del revenimiento



Cambios volumétricos

- ◆ Contracción plástica
 - En la etapa de fraguado ($> 1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$)
- ◆ Contracción por secado
 - Pérdida continua de agua
- ◆ Contracción térmica
 - Adecuada definición de juntas en la estructura
 - Localización, construcción y mantenimiento



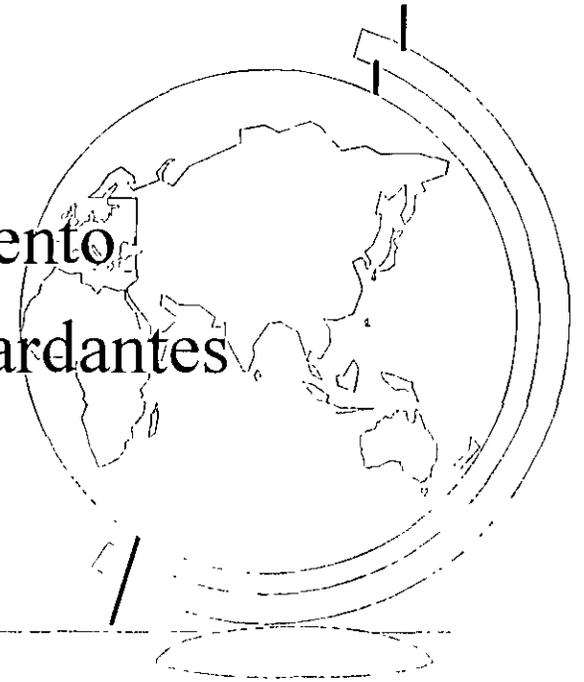
Medidas preventivas

◆ Diseño estructural

- Juntas de servicio (expansión y contracción)
- Refuerzo adecuado p/disminuir grietas

◆ Mezcla de concreto

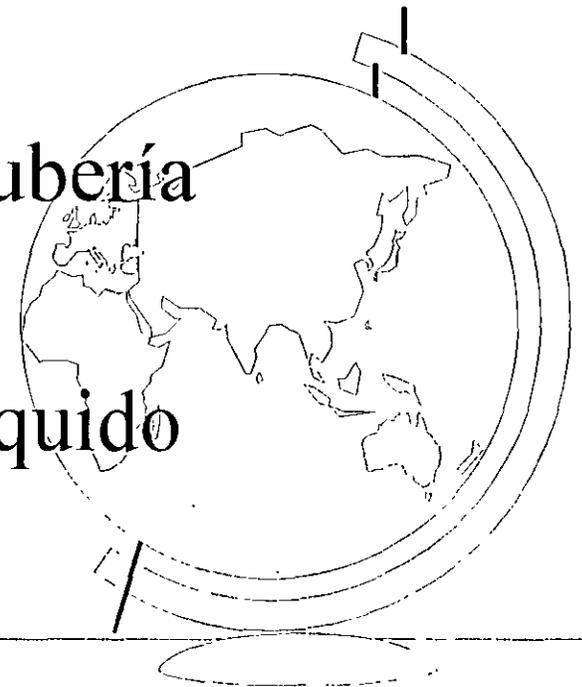
- Cemento tipo II o puzolánico
- Mínimo consumo posible de cemento
- Aditivos reductores de agua y retardantes



Medidas preventivas

Elaboración y colocación del concreto

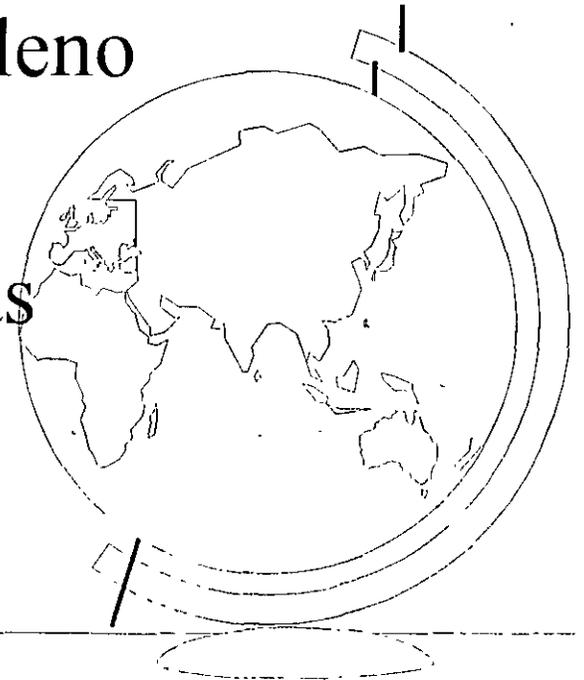
- ◆ Riego continuo a las gravas
- ◆ Proteger del sol a los agregados
- ◆ Colados por la noche
- ◆ Pintar de blanco los equipos y tubería
- ◆ Hielo en escamas o molido
- ◆ Agua preenfriada o nitrógeno líquido



Medidas preventivas

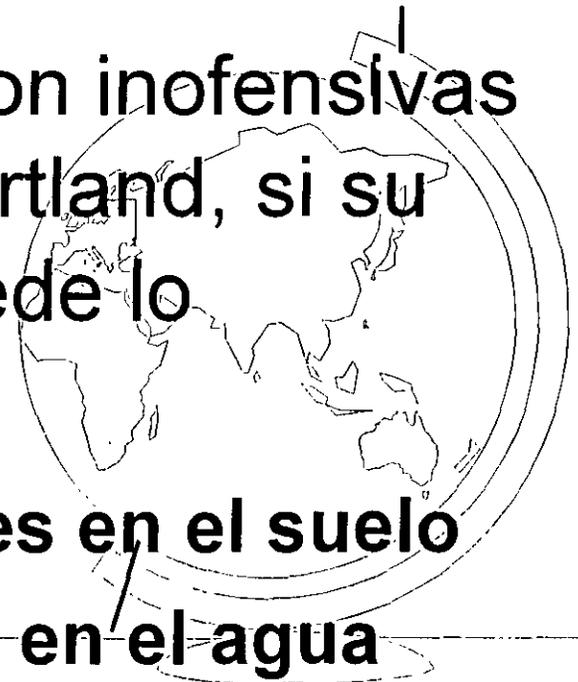
Transporte, colocación y acabado

- ◆ Planeación de las operaciones
- ◆ Protección contra el sol y el viento
- ◆ Curado con membrana o polietileno
- ◆ Riego continuo con agua
- ◆ Aplicación de agua a las cimbras



Ataque de los sulfatos

- ◆ Los sulfatos son sales inorgánicas que normalmente están presentes en el terreno y en las aguas freáticas y superficiales.
- ◆ Se considera que estas sales son inofensivas para el concreto de cemento portland, si su grado de concentración no excede lo siguiente:
 - ◆ **< 0.1% de sulfatos solubles en el suelo**
 - ◆ **< 150 ppm de sulfato (SO₄) en el agua**



Acción agresiva de los sulfatos

- ❑ Con el hidróxido de calcio $(OH)_2$ que se libera durante la hidratación del cemento (sulfato de calcio, yeso)
- ❑ Con los compuestos hidratados que provienen del aluminato tricálcico (C_3A) del propio cemento (ettringita)
- ❑ El volumen de sólidos de los productos resultantes (yeso y ettringita) representa más del doble de los compuestos originales



Zonas de elevada concentración

- ❑ Zonas áridas y semidesérticas del norte de la República
- ❑ Vecindad de las costas de ambos litorales, regiones pantanosas colindantes con el Golfo de México.
- ❑ Lechos de zonas lacustres, como el Lago de Texcoco.



Medidas preventivas

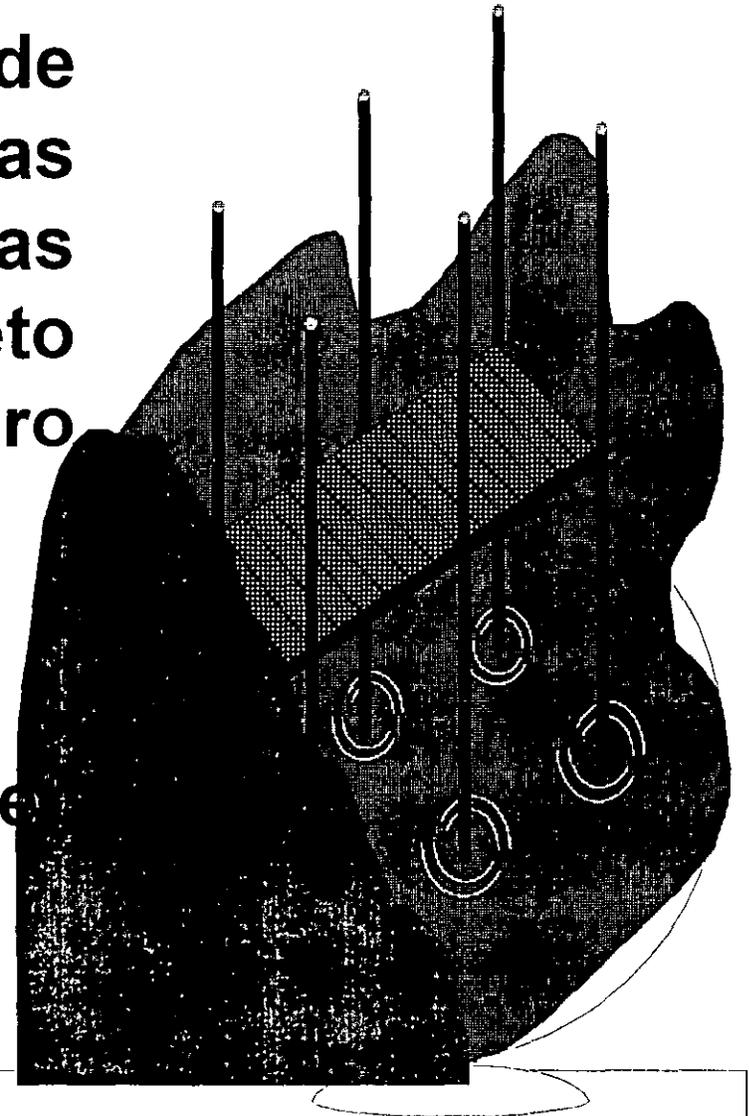
- ❑ Determinar el grado de agresividad del suelo y/o agua en contacto con el concreto.
- ❑ Seleccionar la relación agua/cemento más baja recomendable.
- ❑ Escoger un cemento que sea resistente al ataque de los sulfatos, o con el menor contenido de C_3A y C_3S (para estructuras expuestas al agua de mar)
- ❑ Aplicar un recubrimiento superficial al concreto endurecido.



Corrosión del acero de refuerzo

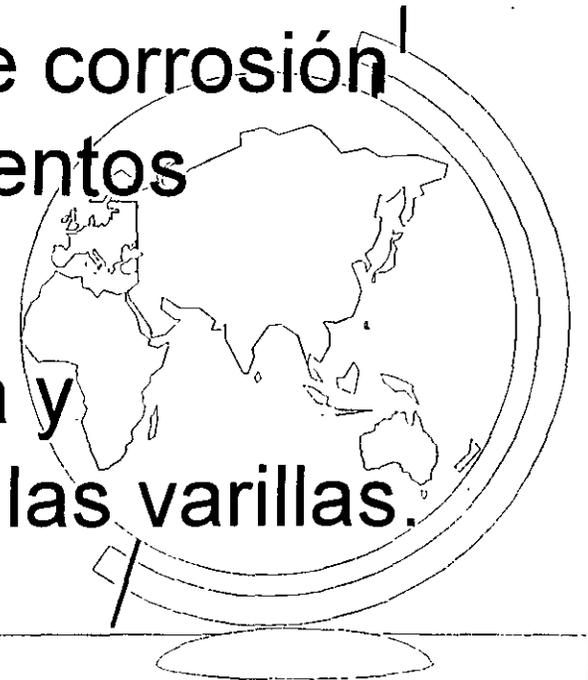
La corrosión del acero de refuerzo es una de las principales causas de que las estructuras de concreto reforzado sufran deterioro prematuro.

- El fenómeno de corrosión electrolítica, se manifiesta como el principal causante de la corrosión prematura del acero de refuerzo en las estructuras de concreto.



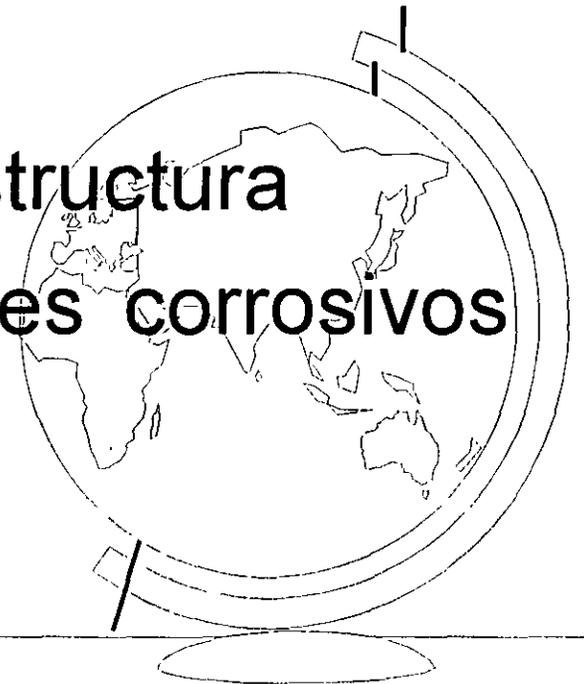
Efectos de la corrosión

- ❑ Se reduce la sección de las varillas
- ❑ Disminuye la adherencia con el concreto
- ❑ Se degradan las propiedades mecánicas
- ❑ Se demerita la capacidad estructural
- ❑ El volumen de los productos de corrosión es 7 veces superior a los elementos originales
- ❑ El aumento de volumen agrieta y desprende el recubrimiento de las varillas.



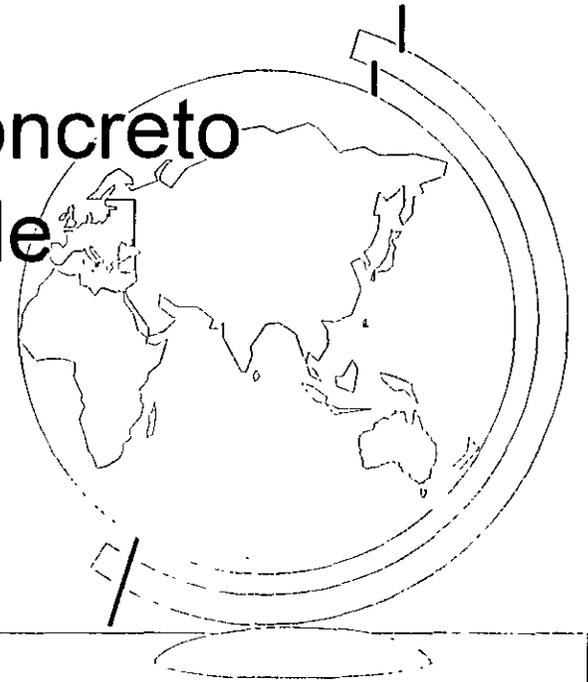
Condiciones que propician la corrosión

- ❑ Excesiva porosidad del concreto (permeable al agua y al aire)
- ❑ Reducido espesor del recubrimiento del refuerzo
- ❑ Existencia de grietas en la estructura
- ❑ Alta concentración de agentes corrosivos en el medio de contacto



Condiciones que propician la corrosión

- ❑ Alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto.
- ❑ Corrientes eléctricas en el concreto (parásitas o por diferencias de potencial)



Valores de recubrimiento

Riesgo de corrosión	Agua/cto. máxima	Espesor mínimo (mm)	Espesor ideal (mm)
----------------------------	-------------------------	----------------------------	---------------------------

Bajo

0.55

40

50

Mediano

0.45

50

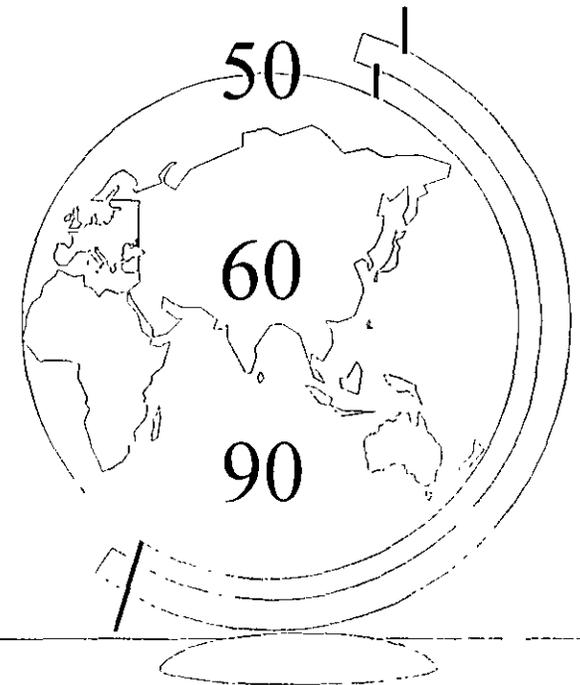
60

Alto

0.40

75

90

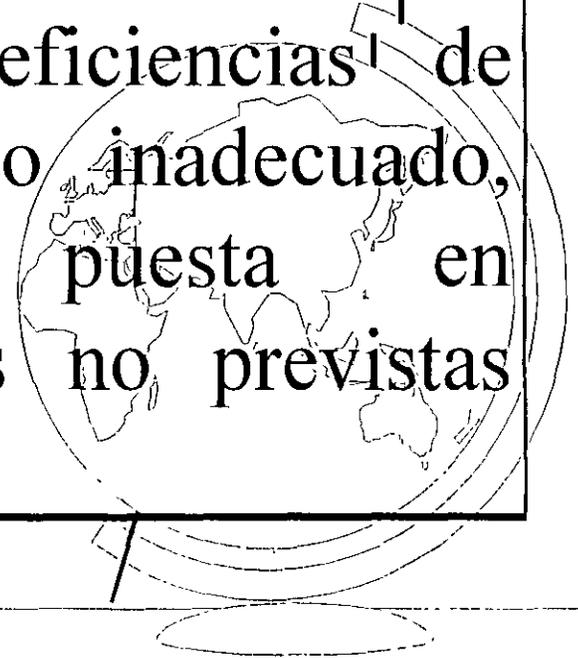


Grietas en la estructura

Agrietamiento no estructural	Causas específicas
Concreto en estado plástico	Asentamiento, sangrado, secado, cont. plástica
Concreto en estado endurecido	Contracción térmica y de secado; RAA, curado, sulfatos, corrosión, defectos constructivos; juntas frías, acabado, etc.

Grietas en la estructura

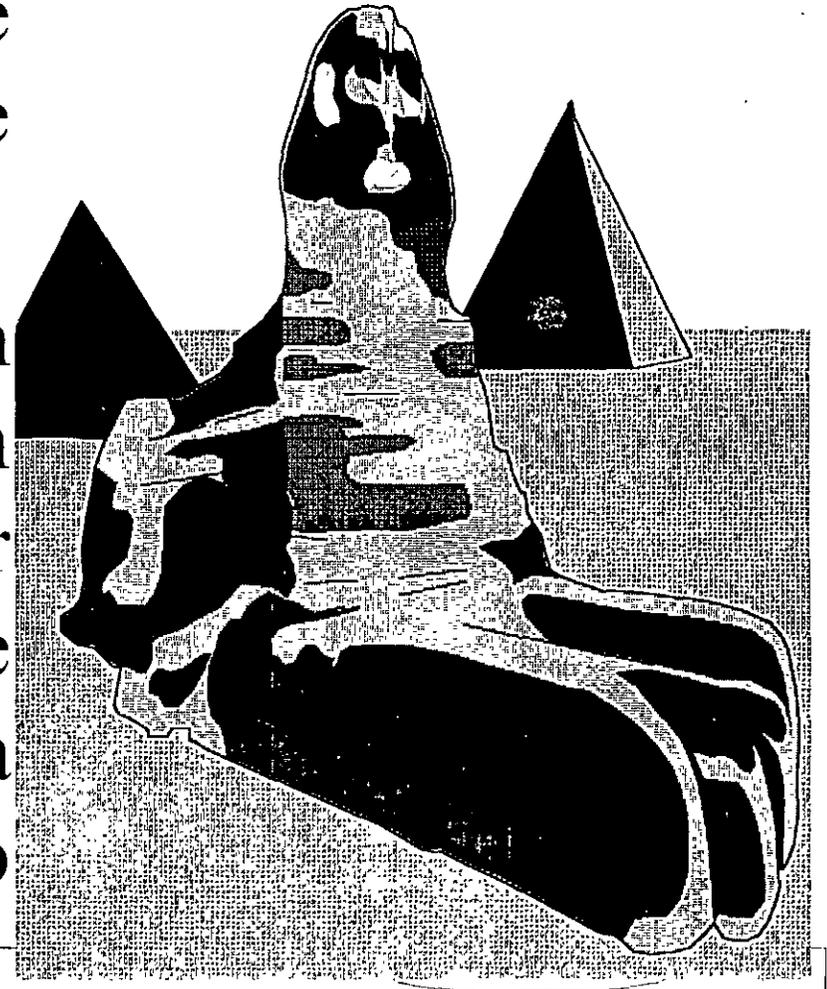
Agrietamiento estructural	Causas específicas
Concreto en estado endurecido	Movimientos diferenciales, sobrecargas, deficiencias de diseño, refuerzo inadecuado, descimbrado, puesta en servicio, juntas no previstas etc.



Abrasión y erosión del concreto

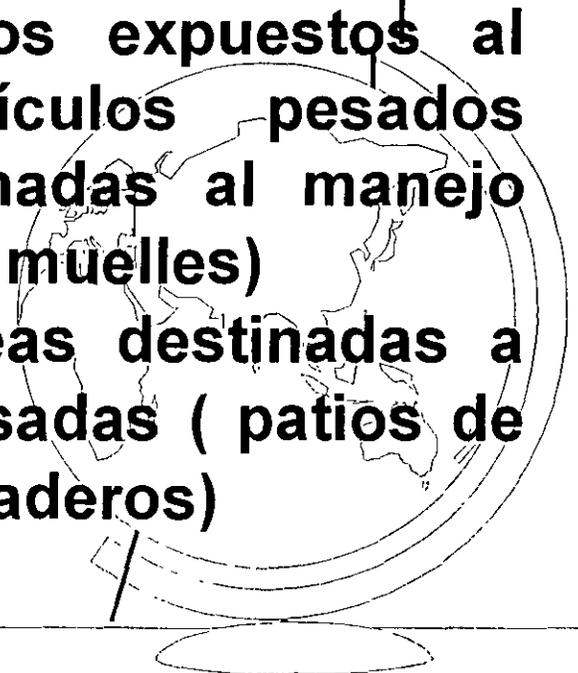
Abrasión. Es el desgaste producido por acciones de frotamiento y fricción.

Erosión. Corresponde a un estado de desintegración superficial ocasionado por los efectos abrasivos o de cavitación debidos a la acción de gases, líquidos o sólidos en movimiento.

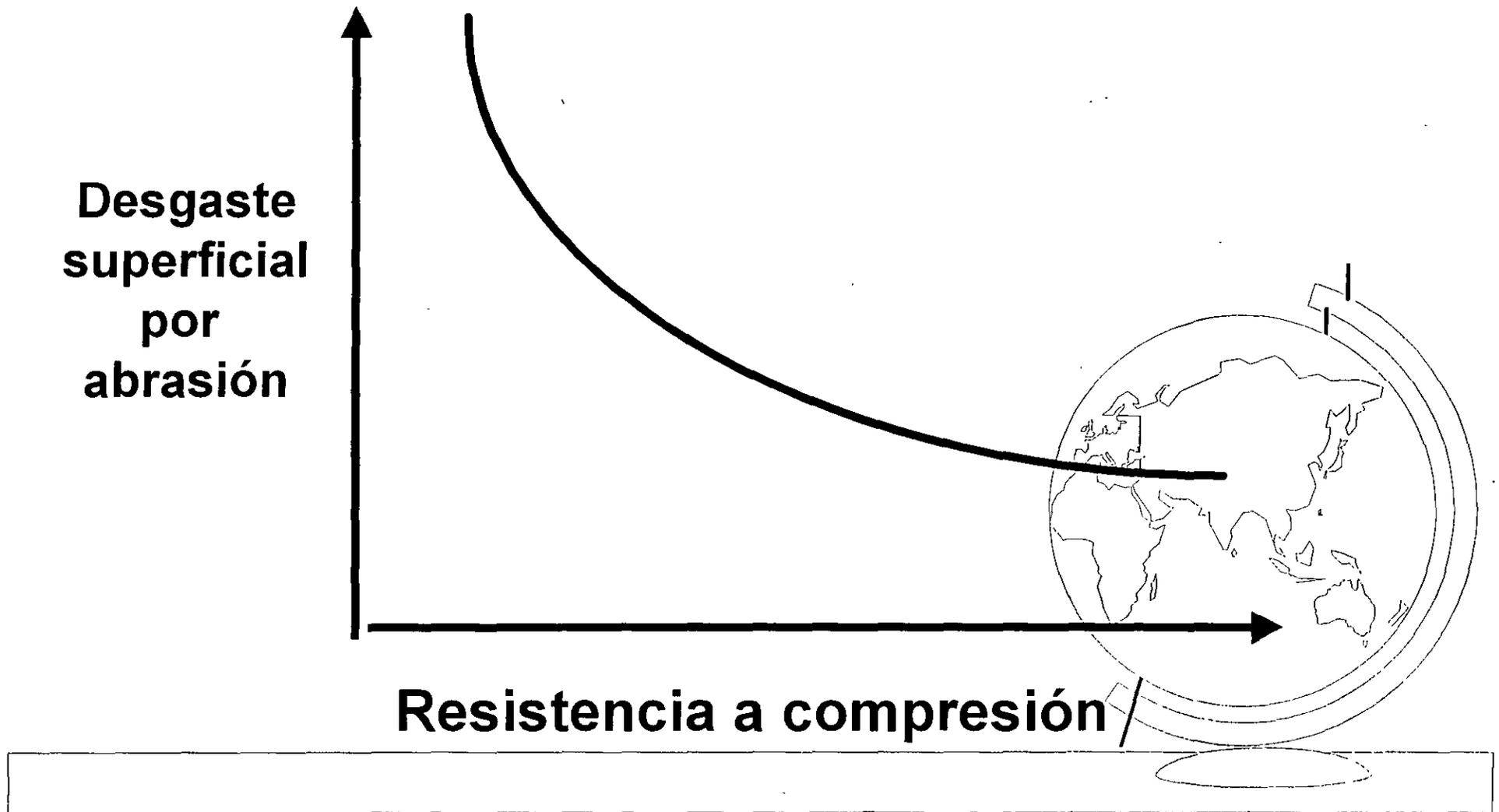


Abrasión mecánica

Grado de abrasión	Lugar y condiciones de servicio
1.- Ligero y mediano	Pisos y pavimentos de concreto expuestos a tránsito de personas y vehículos de todo tipo (ruedas neumáticas, sólidas, metálicas)
2.- Enérgico	Pisos y pavimentos expuestos al tránsito de vehículos pesados (plataformas destinadas al manejo de cargas pesadas, muelles)
3.- Muy enérgico	Pavimentos en áreas destinadas a maniobras muy pesadas (patios de maniobras de aserraderos)

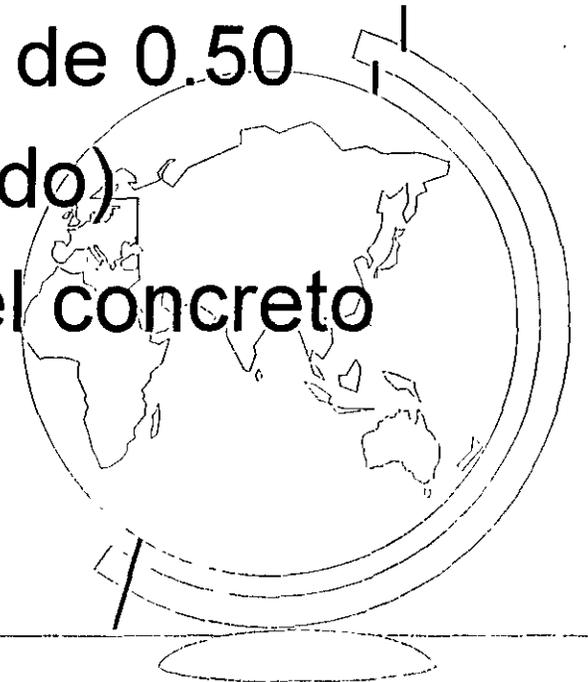


Relación entre la resistencia a la compresión y el desgaste superficial



Causas de la poca resistencia al desgaste (ACI 302)

- ❑ Excesiva agua de mezclado
- ❑ Insuficiente contenido de cemento
- ❑ Relación agua/cemento $>$ de 0.50
- ❑ Alto revenimiento (sangrado)
- ❑ Excesiva manipulación del concreto



Causas de la poca resistencia al desgaste (ACI 302)

- Acabado prematuro
- Uso de agua adicional para dar el acabado superficial
- Exceso de aire intencionalmente incluido
- Curado deficiente
- Carbonatación del concreto (calentadores en clima frío)



DEFICIENCIAS QUE PUEDEN OCASIONAR POCA RESISTENCIA AL DESGASTE EN EL CONCRETO (ACI 302)

- ❑ **Deterioro de la resistencia potencial del concreto, por congelación a edad temprana**
- ❑ **Apertura al tráfico demasiado pronto**



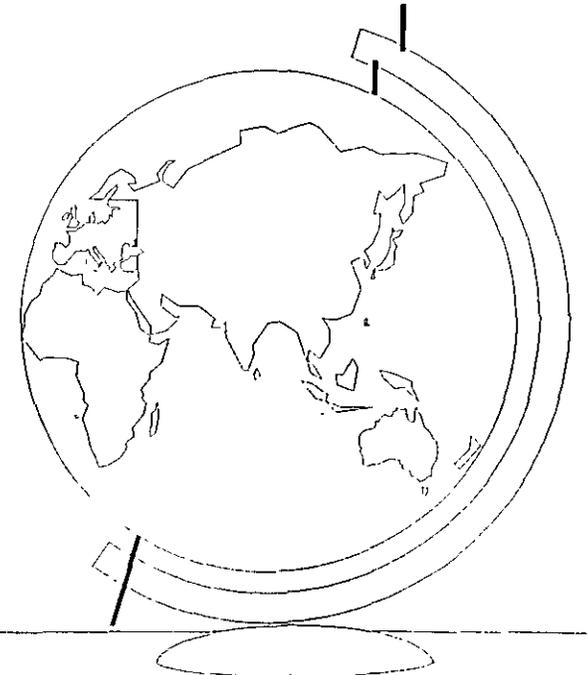
EVALUACION DE LA RESISTENCIA A LA ABRASION

ASTM C - 418

Chorro de arena a presión (“Sandblast”)

ASTM C-779

- A) Discos giratorios**
- B) Rodetes desbastadores**
- C) Balines de rodamiento**



Erosión hidráulica

- ♦ La erosión por abrasión que se debe al desgaste que producen los diversos materiales arrastrados con el agua.
- ♦ La erosión que se produce como resultado del fenómeno de cavitación (daños severos)



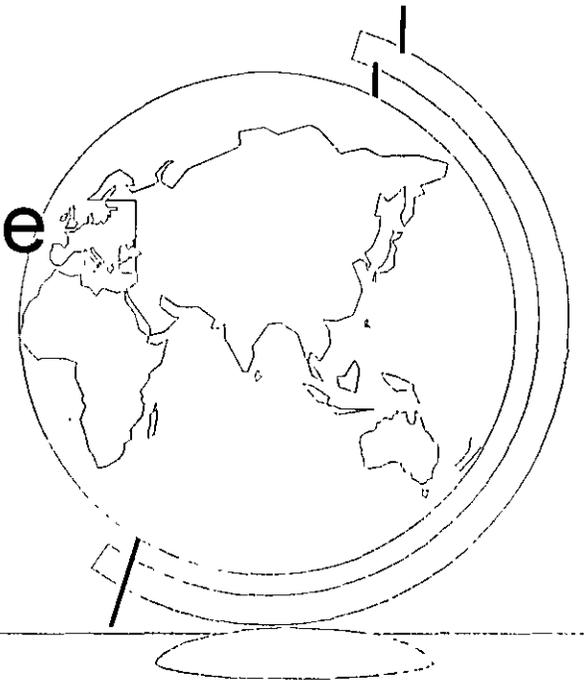
Erosión por abrasión hidráulica

a) Influencia de la relación agua/cemento.

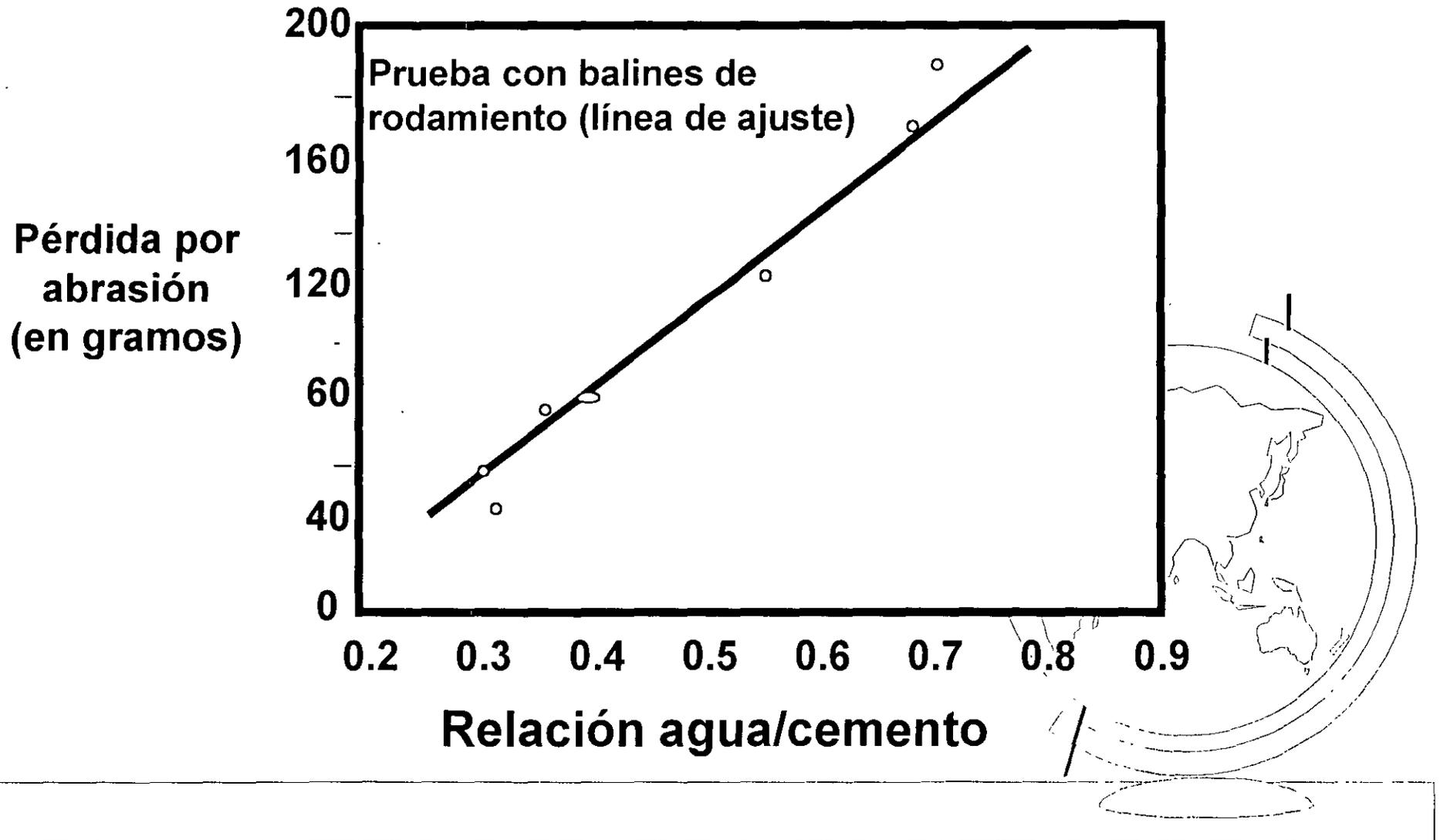
b) Influencia de los agregados

c) Influencia de las prácticas de
construcción

- Procedimiento de acabado
- Sistema de curado



Influencia de la relación agua/cemento en el desgaste por abrasión



Reactividad álcali-agregado

Alkali-sílice

Rocas que contienen ópalo

Rocas volcánicas vítreas (abundantes en México)

Rocas de alto contenido de sílice

Alkali-carbonato

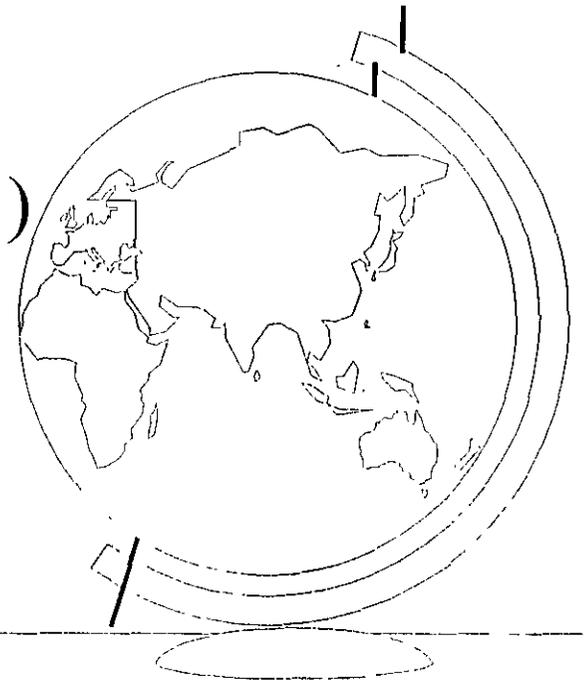
Calizas dolomíticas - arcillosas

Otras rocas dolomíticas (dolomías)

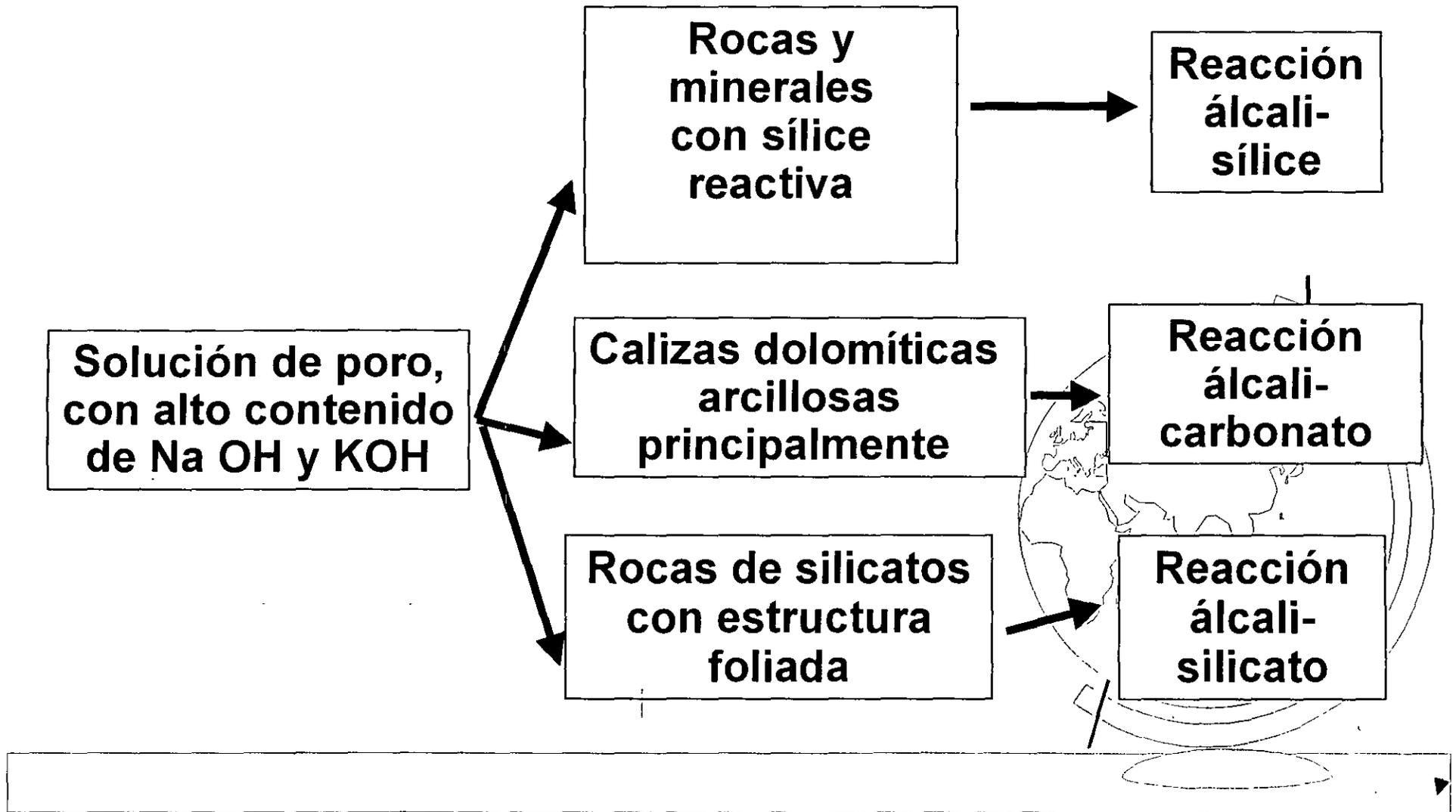
Alkali-silicato

Argilitas, illitas

Equistos y pizarra



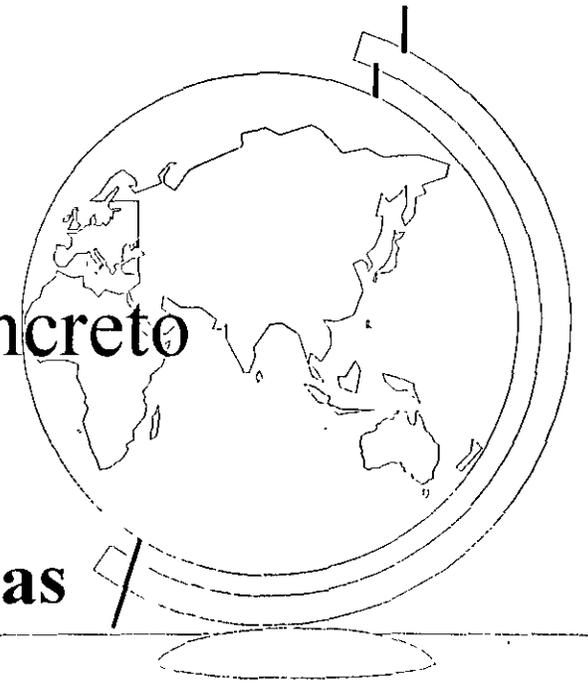
LAS TRES CLASES DE REACCION QUE OCURREN EN EL CONCRETO



Condiciones que provocan la reacción álcali-agregado

- ❑ Exceso de álcalis en el concreto ($> 3 \text{ kg/m}^3$)
- ❑ Proporción crítica de material reactivo en los agregados
- ❑ Humedad de la estructura de concreto en servicio

Alto riesgo de expansiones deletéreas



Criterio de interpretación (álcali-sílice)

- ❶ Examen petrográfico (NMX C 265)
Potencialmente deletéreo (no concluyente)
- ❷ Prueba química (NMX C 271)
Deletéreo/potencialmente (no concluyente)¹
- ❸ Expansión en mortero (NMX C 180)
 - < 0.05 % (no reactivo) dato concluyente
 - > 0.05 , < 0.10 (dudoso) uso restringido
 - > 0.10 (reactivo) dato concluyente

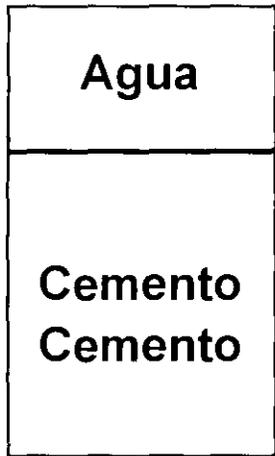


Criterio de interpretación (álcali-carbonato)

- ① Examen petrográfico (NMX C 265)
Potencialmente deletéreo (no concluyente)
- ② Prueba expansión en cilindros de roca (NMX C 272), $< 0.1 \%$ no reactivo, > 0.1 reactivo
- ③ Expansión en concreto (ASTM C 1105)
 - $< 0.015 \%$ (no reactivo) dato concluyente
 - $> 0.015, < 0.025$ (dudoso) uso restringido
 - > 0.025 (reactivo) dato concluyente



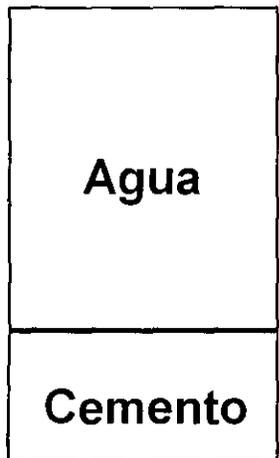
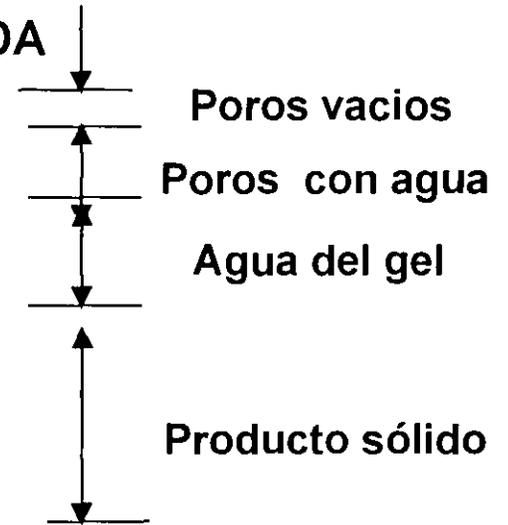
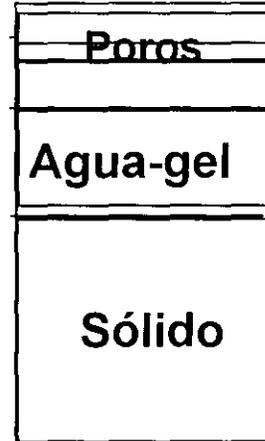
PASTA RECIEN MEZCLADA



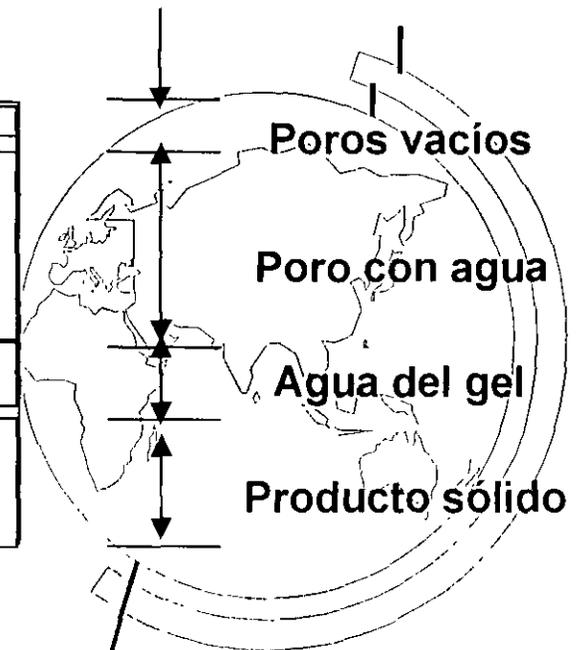
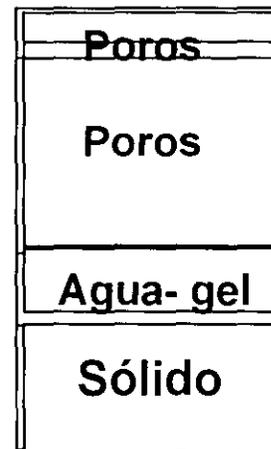
$A/C = 0.25$



PASTA HIDRATADA

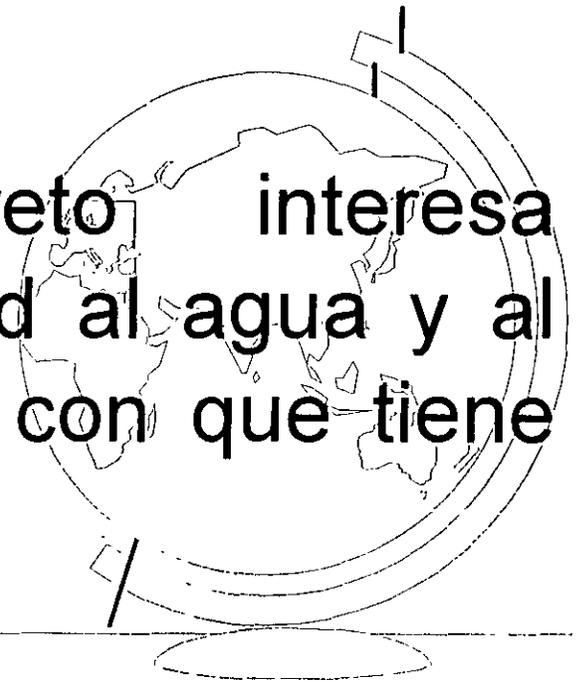


$A/C = 0.60$



Permeabilidad del concreto

- ♦ La permeabilidad de un material se define por la facilidad con que puede ser penetrado por un fluido, ya sea líquido o gaseoso, bajo determinadas condiciones de aplicación.
- ♦ En el caso del concreto interesa principalmente su permeabilidad al agua y al aire, dado que son los fluidos con que tiene contacto.



VALORES MAXIMOS DE LA RELACION A/C PARA OBTENER BAJA PERMEABILIDAD

Según ACI 201

Condiciones de riesgo de deterioro en que se requiere baja permeabilidad del concreto

Relación A/C máxima recomendada

Alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo

0.40

Ataque severo por sulfatos y/o mediano riesgo de corrosión del acero de refuerzo

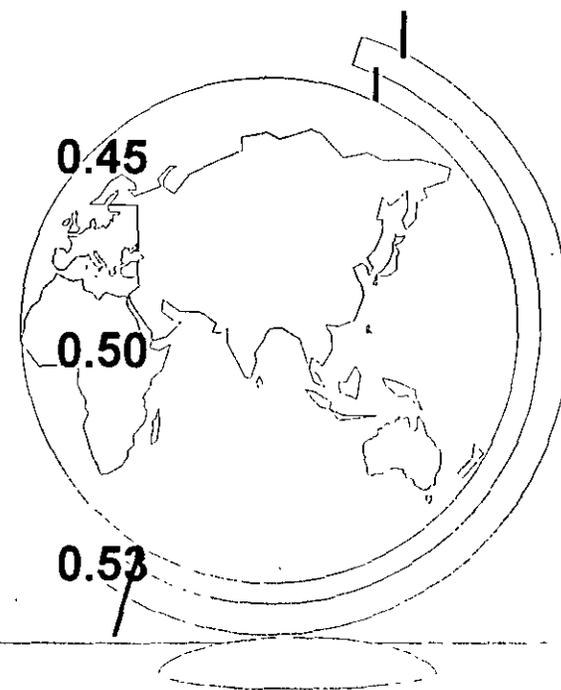
0.45

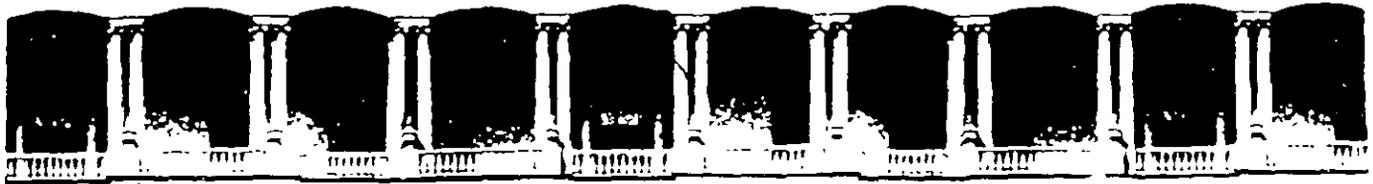
Ataque moderado por sulfatos y/o mediano riesgo de corrosión

0.50

Exposición al efecto de congelación y deshielo y sales descongelantes

0.53





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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

**CONFERENCISTAS
ARQ. ARTURO RODRÍGUEZ JALILI
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

Arq. Arturo Rodríguez Jalili

ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO

DECFI-AMIC

HISTORIA DEL CONCRETO

El concreto como tal, se descubrió hace muchos años, ya que se han encontrado argamasas formadas con el mismo principio del concreto, en diversas culturas como: China, Roma Imperial, Grecia y muchas otras en diferentes tiempos y espacios.

En el siglo XVII, 1756, aparecen los primeros concretos. Para 1824, Joseph Aspdin patenta en Inglaterra el cemento Portland, llamado así por su parecido a las piedras extraídas de una cantera cercana a Portland Inglaterra, por lo que lleva este nombre; aunque su uso en aquel entonces se veía reducido a morteros para la albañilería.

La época moderna, en la primera mitad del siglo pasado, fue caracterizada por la aplicación de tres materiales: el acero, el cristal y el concreto; que permitirían la industrialización de la producción, la prefabricación, el rápido montaje y la pronta recuperación de material; todo esto en busca de una prosperidad económica a través del libre mercado y en donde la competencia era la fuerza motriz del progreso.

Las exposiciones internacionales se dieron como un fenómeno fundamental para ilustrar tendencias en gustos o formas, y en técnicas arquitectónicas e ingenieriles; e implícito a esto, la pronta evolución de la estructura Urbana (Higiene Social).

En Londres en 1851, apareció el primer evento de carácter mundial; inaugurado bajo el lema de la Fraternidad Universal; y siendo sus promotores Henry Cole, funcionario civil colaborador de la corona e impulsor del diseño industrial, y el príncipe Alberto.

Para esto se construiría un único edificio que albergará a todas las naciones y se le requiere a Joseph Paxton, constructor de invernaderos, la edificación de su proyecto: "El Palacio de Cristal", haciendo uso del acero recubierto con cristal;; esta aplicación tecnológica y formal, irá caracterizando a la arquitectura que mostraría la indiscutible solidez de la Inglaterra Victoriana.

Sin embargo, para este primer encuentro, no se enfatiza el uso del concreto, sino hasta 1855, en París Francia, en una Segunda exposición bajo el lema de Paz, en este evento se quiso rendir homenaje a los creadores de prototipos; a los diseñadores de maquinaria y muebles; y una parte sustantiva al diseño industrial.

En Francia, desde 1798, ya se habían desarrollado exposiciones nacionales; pero para una exposición de carácter universal, su impulsor Napoleón III

mostraba su hegemonía de segundo Imperio, y en este espíritu también ordenó la transformación urbanística de París la que elaboró y sugirió Eugene Haussman.

Todavía presente en la memoria del pueblo, las demoliciones de barrios de obreros, para hacer a París más confortable y salubre (Urbanización e Infraestructura); Napoleón III profetiza la supresión a la pobreza, prometiendo el bienestar social, a través del impulso a los prototipos de vivienda (modelos de casas económicas) con sistemas constructivos que hicieran factible su producción masiva y estandarizada a precios reducidos; y para ello la exposición recurrió sobre todo a la iniciativa empresarial e industrial.

La construcción del palacio Industrial, fundado en el centro de los Campos Elíseos, fue dirigida por el Ing. Barrault y el Arq. Viel; resultó un edificio de 250 mts. En su longitud y 108 mts. de anchura; compitiendo con el palacio de cristal, con un claro central de amplitud hasta entonces nunca alcanzada; pero donde su estructura fue cubierta por muros, perdiendo la transparencia y aquella relación del interior y exterior.

En esta construcción donde se piensa que se realizaron las primeras investigaciones y los primeros productos de la técnica del concreto armado, planteando la integración de las artes y las técnicas, dando pie a Baudelaire para hablar de la inevitable relación entre forma y función (tema que hasta ahora sigue siendo parte de la historia).

Para dejar el siglo pasado, se citarán datos sueltos, que permitirán secuenciar las técnicas investigativas de las ciencias aplicadas y en particular aquellas referidas a las tecnologías propias del concreto.

HALLAZGOS EN SU APLICACIÓN

La primera ocasión que se asoció un entrapado de barras de hierro con concreto en ambas caras, se aplicó en 1820 en una parte de la iglesia de Courbevoie, Francia.

En 1861, el francés Coignet construye un solar con el principio de entrapado de acero y cimbrado para recibir el concreto.

Las primeras losas con refuerzo metálico embebido en el concreto aparecen en 1867; y 6 años después, en 1873, se hace el primer puente.

En 1868, el jardinero Monier construyó un depósito de agua de 200 m³, y sus procedimientos fueron aplicados en la construcción de bóvedas armadas, y después, en vigas rectas.

En 1876, el Ing. Mazas aplica por vez primera el cálculo de los elementos de concreto, fundamentando las bases de las resistencias de materiales.

Las innovaciones del concreto armado se empezaron a introducir a la Arquitectura e Ingeniería hasta 1903; y es a partir de entonces cuando alcanza un gran desarrollo en la sistematización de sus técnicas, métodos constructivos y cálculos.

Deberemos estudiar como se aprecia la calidad del concreto armado; cuando está satisfecho nuestro cliente. Con el desarrollo tecnológico el uso del cemento se ha complicado, y por lo tanto, su calidad se vuelve más importante cada vez.

Con este crecimiento tecnológico nacen industrias relacionadas o derivadas del cemento; para controlar mejor su uso y para su empleo más eficiente, se crean industrias como: del Concreto Premezclado, de la Prefabricación, del Presfuerzo, Tubos, Blocks, etc.

La organización de todos los elementos que intervienen en la construcción son: propietarios, contratistas (comprador), autoridades, supervisor, especificador, productor, trabajadores, laboratorios de verificación de calidad, laboratorio de control de calidad, etc.

La investigación en la industria de la construcción, la analizaremos con una vista prospectiva al concreto en el año 2000, tal como sugiere el Instituto Americano del Concreto (ACI) que dice: "Habrá muchas investigaciones tecnológicas en el concreto durante los próximos 20 años, lo que hará posible que el material se use más ampliamente y con mayores ventajas. Esto es importante, ya que a causa de las necesidades, y mejoras de tecnología en la sociedad, todo esfuerzo se debe hacer para aplicar de una manera sabia y eficiente la tecnología del concreto para la solución de los problemas del hombre durante estos 20 años. Esto requerirá de la cooperación continua de: la industria, los ingenieros, los arquitectos, los obreros, los directores, los contratistas, la sociedad, el cliente o el propietario; quien será, en última instancia, el usuario del producto. Estos cambios y el uso efectivo del material no llegarán con facilidad y se requerirá de un esfuerzo continuo y de un interés de todas las partes involucradas".

Se han descrito los acontecimiento materiales de los que emerge, la ciudad moderna; y con esto reflexionar, que la Arquitectura contemporánea que hace a la ciudad; es resultado, más que de releer un nuevo repertorio de formas, será un nuevo modo de pensar, en donde la inercia científica nos lleva a la aplicación de nuevas tecnologías y aparece un parteaguas en el actual momento del campo constructivo, en donde el acero nuevamente intenta desplazar a ese material dúctil y maleable que es el concreto que todavía presenta opciones en su aplicación.

Categorizando al concreto como un material pétreo compatible con la naturaleza de vejez digna, con imagen que gusta e identidad propia, con libertad estética y creativa, posibilidad plástica, que ha hecho temporalidad ya en la historia y con inercia cultural difícil de modificar.

FUNDAMENTOS SOBRE EL CONCRETO

El concreto se compone básicamente de una mezcla que tiene dos componentes: pasta y agregados.

La pasta está compuesta por cemento Portland, ocasionalmente aire y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa parecida a una roca pues la pasta se endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. La pasta constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto. La fig. 1 muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 por ciento y el agua entre el 14 y 21 por ciento. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8 por ciento del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partículas que pueden llegar hasta 10 mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 4 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm. Los agregados constituyen del 60 al 75 por ciento del volumen total del concreto, su selección es de gran importancia. Los agregados deben tener una resistencia a condiciones de exposición al intemperismo, partículas con adecuada resistencia y no deben tener materiales perjudiciales que puedan causar deterioro en el concreto. Se recomienda tener una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta. En concretos bien elaborados se observa que cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado. La calidad del concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad del concreto pero también mezclas más rígidas; pero con vibración, pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas.

Las propiedades en el concreto fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para:

1. Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento.
2. Reducir la demanda de agua.
3. Aumentar la trabajabilidad.
4. Incluir intencionalmente aire.
5. Ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado, el concreto endurecido se transforma en un material resistente, durable, no combustible, resistente al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento.

CONCRETO RECIEN MEZCLADO

Este concreto debe ser plástico o semi-fluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición "plástico". En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra quedan encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están dispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea en todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona, sino que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Se puede adicionar aditivos superfluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concreto delgados o muy reforzados.

MEZCLADO

Los 5 componentes básicos del concreto se muestra en la figura 1. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el tiempo de adición de agua, en el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora, y en la velocidad de revolución. Otro factor importante en el mezclado son el tamaño de la revoltura en relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas. Las mezcladoras aprobadas, con operación y mantenimiento correctos, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado de la revoltura sobre sí misma a medida que se mezcla el concreto. Fig. 2

TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado se denomina trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar ni sangrar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos-cemento, arena y piedra dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se llevan a cabo las operaciones de acabado mientras está presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangra, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

CONSOLIDACION

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de una mezcla más dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado, habrá que llenar con pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria. Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Sólo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que son fácil de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

HIDRATACIÓN, TIEMPO DE FRAGUADO, ENDURECIMIENTO

La propiedad de liga de la pasta de cemento Portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación.

El cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90 por ciento o más del peso del cemento Portland y son: El silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico. Además de

éstos componentes principales, algunos otros son importantes en el proceso de hidratación. Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75 por ciento del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar nuevos dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio, éste es el cementante más importante en el concreto, ya que el fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional dependen de éste.

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas. Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcle el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudará a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación, sin embargo el calor puede ser nocivo en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir mezclas indeseables al enfriarse luego de endurecer.

El Cemento Portland tipo I libera un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo II, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar más de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El cemento tipo III, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo IV, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe tomar en consideración donde le sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Una vez colocado y terminado es recomendable tener un endurecimiento rápido.

CONCRETO ENDURECIDO

CURADO HUMEDO

El aumento de resistencia continuará con la edad mientras esté presente algo de cemento sin hidratar, a condición que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia se detienen.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un período de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de volverlo a saturar.

VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho que esté seco, no es indicación que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuará a cada profundidad únicamente a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no ha tenido suficiente curado húmedo presenta descascaramientos y una superficie débil, el concreto se contrae al secarse, ésta es una causa fundamental del agrietamiento, y el ancho de las grietas es función del grado de secado.

El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantienen una relación importante con la velocidad de secado. Los elementos de concreto de gran área superficial en relación a su volumen (por ejemplo losas de pisos) se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas (por ejemplo estribos de puentes).

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo f_c . Para determinar esta resistencia se realizan pruebas en especímenes de mortero (cubos de 5 cm) y de concreto (cilindros de 15 cm. de diámetro y 30 cm de altura). El concreto de uso más generalizado tiene una resistencia a la compresión de 210 a 350 kg/cm^2 . Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia no menor de 420 kg/cm^2 . En algunos países ha llegado a resistencias de 1500 kg/cm^2 en aplicaciones de diferentes construcciones. Fig. 3

RESISTENCIA A FLEXION

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a compresión se utiliza frecuentemente como un índice de la resistencia a la flexión, también es llamado **Módulo de Ruptura**, para un concreto de peso normal se aproxima de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión. Fig. 4

RESISTENCIA A TENSION

El valor de la resistencia a tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

RESISTENCIA A TORSION

La resistencia a la torsión para el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y con la dimensiones del elemento de concreto.

RESISTENCIA AL CORTANTE

La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existente entre la resistencia a compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión y cortante, varía de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

MODULO DE ELASTICIDAD

Se dice que un material es perfectamente elástico si sufre deformaciones unitarias en el momento de aplicar un esfuerzo y desaparecen al quitarlo. Esta relación implica una relación lineal de esfuerzo-deformación unitaria.

Un comportamiento elástico con una relación no lineal de esfuerzo deformación unitaria se presenta en el vidrio y algunas rocas.

El Módulo de elasticidad (E), se define como la relación de esfuerzo normal a la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E varía entre 140,600 a 422,000 kg/cm², y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Factores que afectan las resistencias:

- Relación agua-cemento
- Resistencia a diferentes edades

PESO UNITARIO

El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad de aire incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, éstos se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado.

El concreto normal tiene un peso unitario de 2,240 a 2,400 kg. por metro cúbico (kg/m³).

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m³, a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m³, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

DURABILIDAD

La durabilidad del concreto hecho con cemento Portland se define como su resistencia a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioración. El concreto durable mantendrá su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente.

La falta de durabilidad puede deberse al medio al que está expuesto el concreto, o a causas internas del concreto mismo.

Las **causas externas** pueden ser físicas, químicas o mecánicas; pueden ser originadas por condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, abrasión, acción electrolítica, ataques por líquidos y gases de origen natural o industrial. El grado deterioro producido por estos agentes dependerá principalmente de la calidad del concreto, aunque en condiciones extremas cualquier concreto mal protegido se daña. La exposición del concreto húmedo a ciclos de congelamiento y deshielo es una prueba severa para el material, donde el concreto de baja calidad seguramente fallará. Por otro lado, un concreto con aire incluido que haya sido adecuadamente dosificado, mezclado, colocado,

acabado y curado, casi siempre resistirá el congelamiento cíclico durante muchos años.

Las **causas internas** son la reacción álcali-agregado, cambios de volumen debido a diferencias entre las propiedades térmicas del agregado y de la pasta de cemento y, sobre todo, la permeabilidad del concreto. Este factor determina en gran medida la vulnerabilidad del concreto ante los agentes externos y, por ello, un concreto durable deberá ser relativamente impermeable.

Es raro, que el deterioro del concreto se deba a una causa aislada: a menudo, aún cuando tenga algunas características indeseables, aunque no aparente, el concreto puede ser satisfactorio; sin embargo, con un sólo factor adverso más el daño puede ocurrir. Por esta razón, algunas veces es difícil asignar el deterioro a una causa en particular, pero la calidad del concreto, especialmente en lo referente a la permeabilidad, siempre debe tomarse en cuenta.

Dentro de las recomendaciones para obtener estructuras durables tenemos las siguientes:

1. Diseño de la estructura para que se reduzca a un mínimo la exposición a la humedad
2. Baja relación agua/cemento
3. Inclusión de aire
4. Materiales adecuados
5. Curado adecuado
6. Especial atención a los procedimientos constructivos

CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Al disminuir la temperatura de un concreto endurecido saturado, el agua conservada en los poros capilares de la pasta de cemento se congela en forma semejante a la congelación de los poros capilares de una roca, y se produce una expansión del concreto. Con una nueva congelación hay más expansión, de modo que la repetición de ciclos de congelación y deshielo tiene efectos acumulativos. Los poros más grandes del concreto, ocasionados por una compactación incompleta suelen estar llenos de aire y, por lo tanto, son sensibles a la congelación en forma apreciable.

La congelación es un proceso gradual, en parte por la rapidez de transferencia del calor en el concreto, en parte por el aumento progresivo en la concentración de los álcalis disueltos en el agua aún sin congelar, y porque el punto de congelación varía con el tamaño de la cavidad, como la tensión superficial de los cuerpos de hielo en los capilares ejerce una presión que aumenta al reducirse el cuerpo de hielo, la congelación se inicia en las cavidades mayores y se extiende gradualmente a las pequeñas. Los poros de gel son demasiado pequeños para permitir la formación de núcleos de hielo a más de -78°C , por lo cual, en la práctica, no se forma hielo dentro de ellos. Sin embargo con un descenso de

temperatura, debido a la diferencia en entropía del agua del gel y el hielo, el agua de gel adquiere una energía potencial que le permite moverse hacia las cavidades capilares que contiene hielo. Esta difusión del agua del gel produce el crecimiento del cuerpo de hielo y la expansión. Tenemos así dos causas de presión por dilatación:

Primera, la congelación del agua da por resultado un aumento de volumen de aproximadamente un 9 por ciento; se expulsa el exceso de agua en la cavidad. La rapidez de congelación determina la velocidad de flujo de agua desplazada por el avance del hielo, y la presión hidráulica desarrollada dependerá de la resistencia al flujo, es decir, de la longitud de trayectoria y la permeabilidad de la pasta entre la cavidad que se congela y algún hueco que pueda recibir el exceso de agua.

Segunda, difusión de agua, que causa el desarrollo de un número relativamente pequeño de cuerpos de hielo. Sobre la base de numerosas investigaciones, se piensa que este mecanismo reviste particular importancia en los daños por congelación del concreto. Esta difusión procede de la presión osmótica que se origina en aumentos locales en la concentración de materias en solución, que a su vez se debe a la separación del agua (pura) congelada y de la solución. También aparece cuando se emplean sales para descongelar carreteras, algunas de ellas son absorbidas por la parte superior del concreto. Esto produce una alta presión osmótica, que tiene por consecuencia un movimiento del agua hacia la zona más fría en donde tiene lugar la congelación.

Cuando la presión de dilatación en el concreto excede de su resistencia a la tensión, se producen daños. El grado de daño varía desde un descascamiento superficial hasta la desintegración total, a medida que se forma las capas de hielo, al principio en la superficie expuesta del concreto y después a mayor profundidad.

Con la inclusión de aire el concreto es sumamente resistente a este deterioro. Durante el congelamiento, el agua desplazada por la formación de hielo en la pasta se acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

La durabilidad a la congelación y deshielo se puede determinar por el procedimiento de ensaye de laboratorio ASTM C 666 "Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing". A partir de la prueba se calcula un factor de durabilidad que refleja el número de ciclos de congelación y deshielo requeridos para producir una cierta cantidad de deterioro. La resistencia al descascamiento provocado por compuestos descongelantes se puede determinar por medio del procedimiento ASTM C 672 "Standard Test Method For Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemical".

PERMEABILIDAD

La penetración de materiales en solución puede afectar adversamente la durabilidad del concreto, esta penetración depende de la permeabilidad del concreto, y está determinada por la facilidad relativa con que el concreto puede saturarse de agua, por lo tanto, la permeabilidad se asocia mucho a la vulnerabilidad del concreto a la congelación. Además, en el caso del concreto reforzado, el acceso de la humedad y del aire tiene como resultado la corrosión del acero de refuerzo, que a su vez causa un aumento en el volumen del acero, lo cual puede dar origen a grietas y descascaramientos del concreto.

La permeabilidad del concreto es importante también en relación a lo hermético de las estructuras que retienen líquidos y de algunas otras; asimismo el problema de la presión hidrostática en el interior de las presas. Además, la penetración de humedad en el concreto afecta sus propiedades de aislamiento térmico. Puede observarse que el paso del agua a través de un concreto de espesor determinado puede ser causado por una fuente de agua, el humedecimiento diferencial en los dos lados del concreto o por efectos osmóticos.

La permeabilidad de la pasta de cemento varía con el desarrollo de la hidratación. En una pasta fresca, el flujo de agua se regula por el tamaño, la forma y la concentración de los granos originales del cemento. Con el avance de la hidratación, la permeabilidad decrece rápidamente, ya que el volumen total de gel (incluidos los poros en el gel) es aproximadamente 2-1 veces mayor que el volumen del cemento no hidratado, de modo que el gel gradualmente llena parte del espacio que originalmente estaba lleno de agua. En una pasta madura la permeabilidad depende del tamaño, la forma y la concentración de las partículas del gel, y del hecho de que los huecos capilares sean o no discontinuos.

En pastas hidratadas al mismo grado, la permeabilidad es menor al aumentar el contenido de cemento en la pasta, es decir, al disminuir la relación agua/cemento.

La permeabilidad del concreto se ve afectada también por las propiedades del cemento. Para una misma relación agua/cemento, el cemento grueso tiende a producir una pasta de más porosidad que un cemento más fino. La composición del cemento afecta la permeabilidad en cuanto a su influencia sobre la rapidez de hidratación, pero el grado final de porosidad y de permeabilidad no se afecta. En términos generales, es posible decir que, a mayor resistencia de la pasta, la permeabilidad será mejor; este resultado es previsible, ya que la resistencia está en función del volumen relativo del gel en el espacio disponible.

La permeabilidad del concreto curado con vapor es generalmente menor que la del curado húmedo.

La permeabilidad del concreto puede determinarse en el laboratorio mediante una prueba sencilla, pero los resultados son comparativos.

En esta prueba las caras laterales de la muestra se sellan, y se aplica agua a presión solamente por la parte superior. A menudo se usa agua saturada con aire a presión atmosférica, pues esto corresponde a la situación de los casos prácticos. Suele utilizarse aire comprimido para aplicar la presión, pero debe tenerse cuidado para que el aire no sea absorbido por el agua; pero debe tenerse cuidado para que el aire no sea absorbido por el agua; de no ser así, una parte del aire no sea absorbido por el agua; de no ser así, una parte del aire podría liberarse al reducir la presión dentro de la muestra, lo cual disminuiría el gasto del flujo. Cuando se logra un régimen estable (y esto puede no suceder antes de 10 días desde la iniciación de la prueba), se mide la cantidad de agua que fluye en un tiempo determinado a través de un espesor dado de concreto, y la permeabilidad se expresa como coeficiente de permeabilidad, K , dado por la ecuación de Darcy.

RESISTENCIA AL DESGASTE

La resistencia del concreto a la abrasión se define como "la habilidad de una superficie para resistir el desgaste producido por fricción o frotamiento". La abrasión de pisos y pavimentos puede ser consecuencia de operaciones de producción, del tráfico de peatones o vehículos; la resistencia a la abrasión es, por lo tanto, de importancia en el diseño y construcción de pisos industriales. Las partículas arrastradas por el viento o el agua también pueden erosionar las superficies del concreto.

Entre los factores que afectan la resistencia del concreto a la abrasión tenemos:

1. Resistencia a la compresión
2. Propiedades de los agregados
3. Métodos de acabado
4. Uso de cubiertas o recubrimientos
5. Curado

La resistencia del concreto a la abrasión puede determinarse por distintos métodos, cada uno de los cuales intenta simular una forma de abrasión basada en la práctica. En todas las pruebas, la pérdida de peso de la muestra se emplea como medida de la abrasión.

En la prueba de abrasión de las bolas de acero, se aplica una carga a una cabeza rotatoria que está separada de la muestra mediante bolas de acero. Durante la prueba se hace simular agua, a fin de remover el material producido por desgaste.

En la prueba de la rueda desbastadora, se emplea una prensa barrenadora modificada para aplicar una carga a 32 ruedas giratorias desbastadoras en

contacto con la muestra. La cabeza impulsora gira 5000 veces a 190 revoluciones por minuto, y como material abrasivo se emplea carborundo.

Estas dos pruebas sirven para estimar la resistencia del concreto sometido a tráfico intenso de rodaje o de peatones.

No es fácil simular las condiciones reales de desgaste, y realmente la principal dificultad en la prueba de abrasión reside en asegurar que el resultado de una prueba represente la resistencia comparativa del concreto a un tipo de desgaste determinado.

ESTABILIDAD VOLUMETRICA

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad y en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi los mismos que para el acero.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilatará ligeramente. Cuando permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por secado es el contenido de agua del concreto recién mezclado. La contracción por secado aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación y tiempo.

BIBLIOGRAFIA

- Battisti, Emilio, *Arquitectura, Ideología y Ciencia: teoría y práctica en la disciplina del proyecto*, Ed. Blume, 1980.
- Benévolo, Leonardo, *Historia de la Arquitectura Moderna*, Ed. Gustavo Gilli, 1982.
- Herrera, René, *Primer Curso de Concreto Armado, Apoyos Didácticos*, UAM-Xochimilco, 1993.
- ACI 201, *Durabilidad del Concreto*, IMCYC 20, 1977.
- Neville, A., M., *Tecnología del Concreto, Tomo 2*, IMCYC, 1977.
- IMCYC, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, IMCYC, 1992.

FIGURA 1
Agregado Fino Agregado Grueso

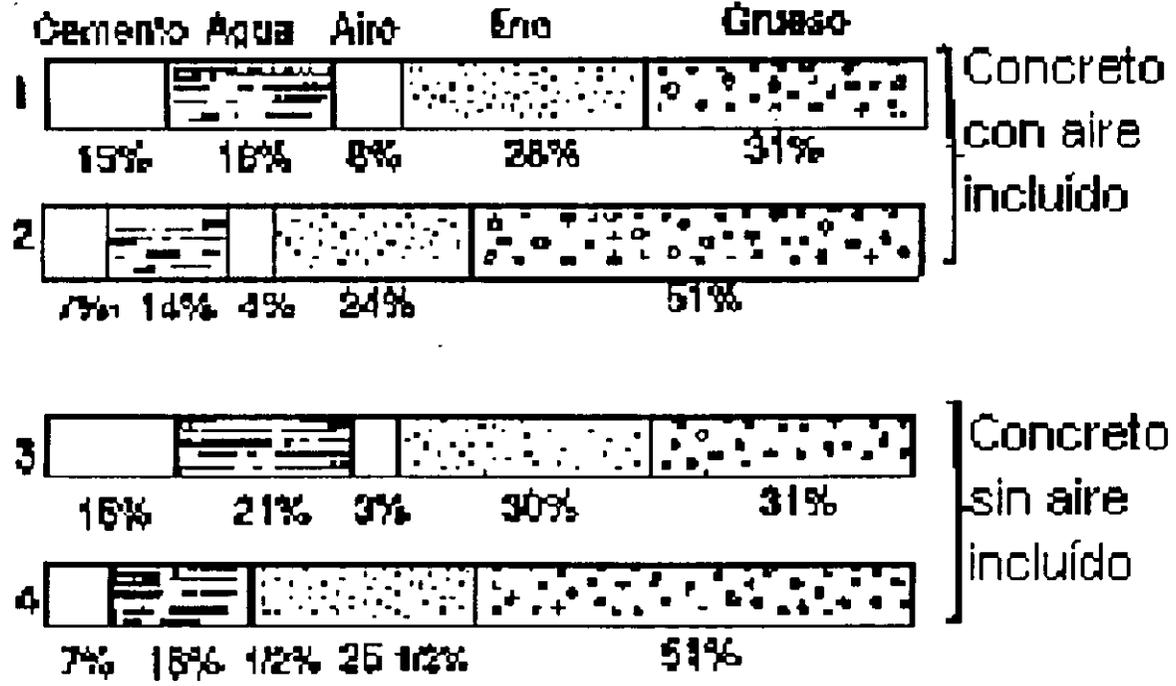


Figura 2

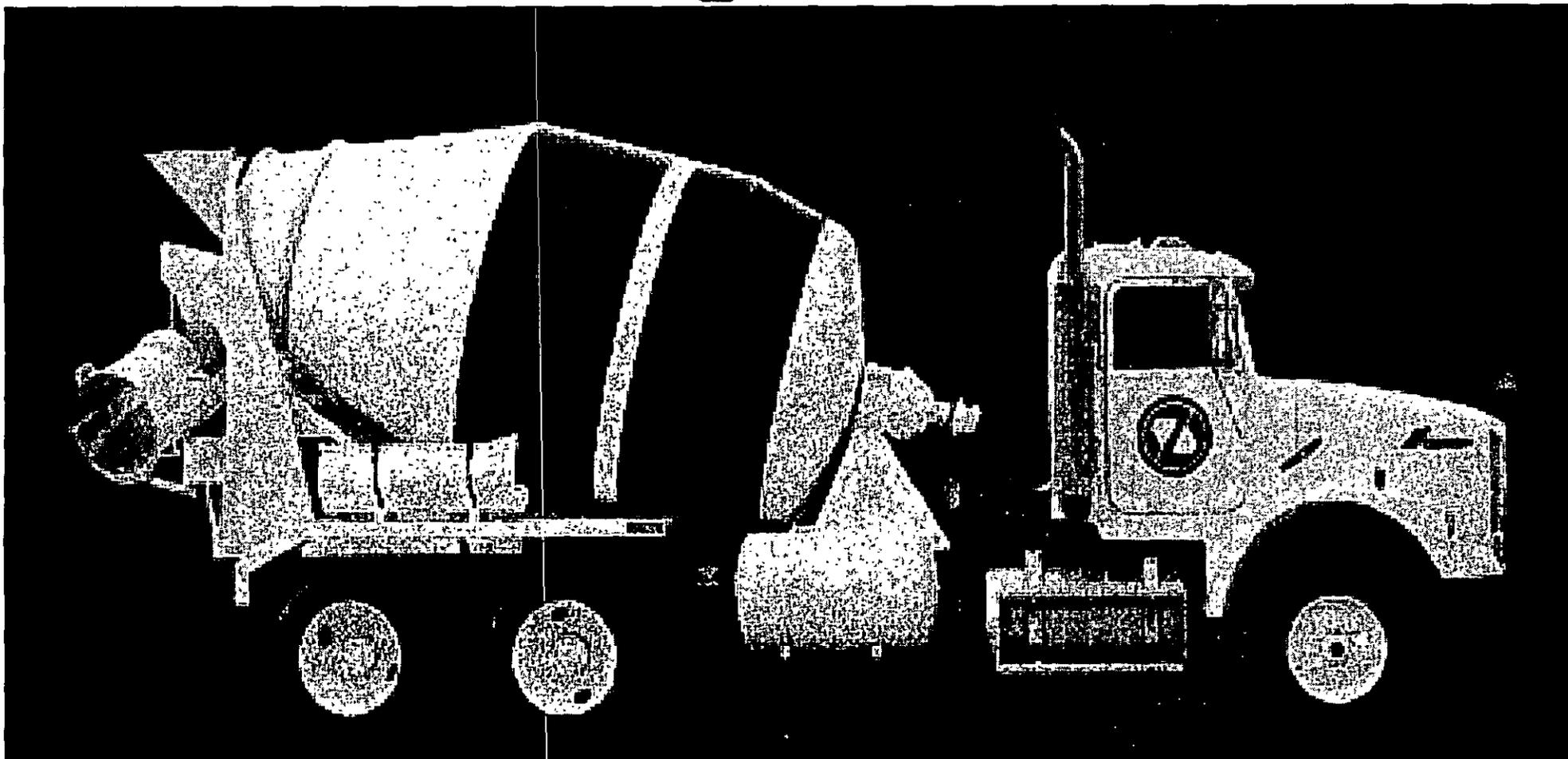
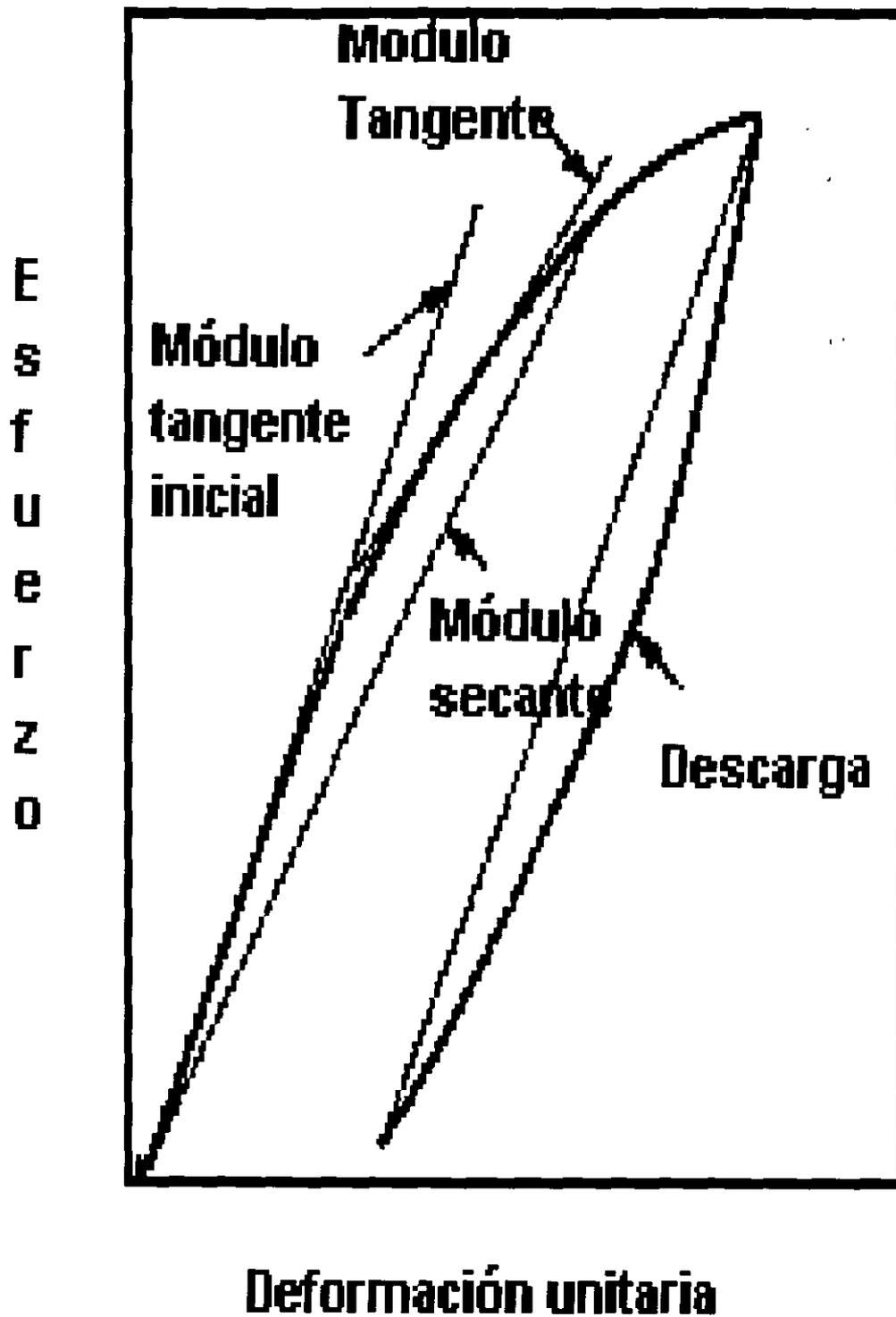
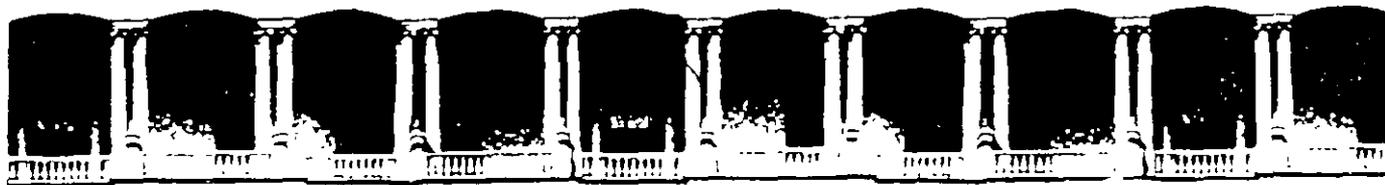


FIG. 3
CURVA ESFUERZO DEFORMACION- UNITARIA DEL
CONCRETO





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

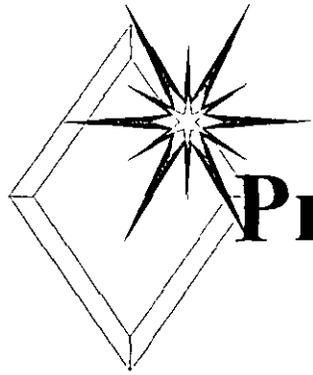
CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

**DURABILIDAD DEL CONCRETO
(PARTE 2)**

**CONFERENCISTAS
ING. EMILIO ZAMUDIO CINTORA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**



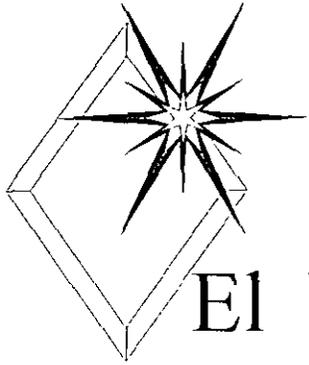
DURABILIDAD

Problemas críticos para el futuro

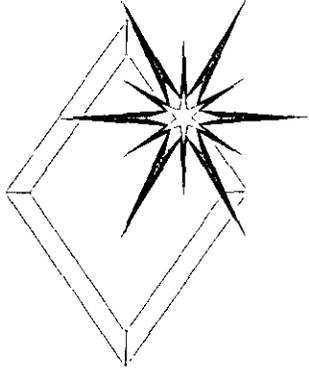
(Punto de vista de Kumar Mehta.)

1.- El problema de la durabilidad del concreto.

El National Materials Advisory Board en 1997 reportó que 253 000 losas de cubiertas de puentes en los Estados Unidos presentan estados de deterioro importantes y cada año se incrementa el número con 35 000 puentes dañados. Muchos de estos puentes tienen apenas 20 años de haberse construido.



El National Cooperative Highway Research Program's reporta que el último levantamiento de daños encontró que más de 100, 000 losas de las cubiertas de puentes, presentan agrietamientos transversales en todo su espesor con separaciones de 3 m aprox.; estas grietas aparecieron antes de que el concreto tuviera un mes de haberse colado.



El gobierno Americano anualmente gasta en la rehabilitación y reparación de la infraestructura de concreto una tercera parte del presupuesto total designado para la construcción.



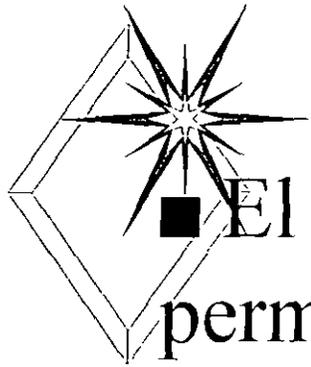
2.7 Los principales causantes del deterioro del concreto.

- Corrosión del acero de refuerzo
- Congelamiento y deshielo
- Expansión por la reactividad álcali-agregado.
- Ataque de sulfatos.



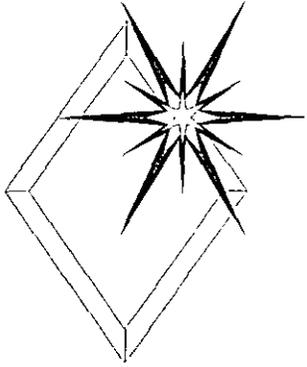
■ a pesar de que se tienen diseños estructurales adecuados, especificaciones de materiales correctas y prácticas de construcción satisfactorias; sin embargo aún hoy día nos preguntamos

¿Porqué se tienen tantos problemas de Durabilidad?



■ El concepto de que la alta resistencia y la baja permeabilidad en el concreto eran garantía para obtener la deseada durabilidad no es del todo cierto.

■ La causa de los deterioros mencionados es que no se le ha dado la debida atención para evitar “el agrietamiento epidémico de las estructuras modernas de concreto” descuidando los principios básicos de la tecnología de concreto.



- ◆ El concreto se agrieta cuando los esfuerzos de tensión inducidos, por cualquiera de las causantes, es mayor que la resistencia a tensión que tenga el concreto.



Para disminuir el riesgo de agrietamiento en el concreto, se deben considerar los siguientes factores:

Tener alta resistencia a la tensión.

Bajo nivel de deformación por contracción.

Bajo módulo de elasticidad a edades tempranas.

Estructura de concreto impermeable, contiene grietas discontinuas, microgrietas y poros.

Pérdida gradual de la impermeabilidad conforme las grietas, microgrietas y poros se interconectan.

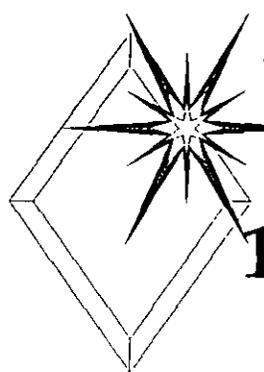
Modelo holístico del deterioro del concreto causado por los efectos ambientales

I.- Expansión del concreto, debida al incremento de la presión hidráulica en los poros causada por:

- Corrosión del acero**
- Ataque de sulfatos a los agregados**
- Ataque de los álcalis a los agregados**
- Congelamiento del agua**
- Acciones simultáneas.**

II.- Reducción de la resistencia y rigidez del concreto.

Agrietamiento, laminación, despostillamiento y pérdida de masa.



A) Acción ambiental (No hay daños visibles)

1.- Los efectos del intemperismo

-calentamiento/enfriamiento

-humedecimiento/secado

2.- Efectos de carga

-cargas cíclicas

-cargas de impacto

B) Acción ambiental (Inician y se propagan los daños)

- penetración de agua

- penetración de O₂ y CO₂

- penetración de iones ácidos (Cl⁻ y SO₄⁻⁻)

3. Relación entre resistencia y durabilidad.



Para obtener alta resistencia en el concreto a edades tempranas se hace lo siguiente:

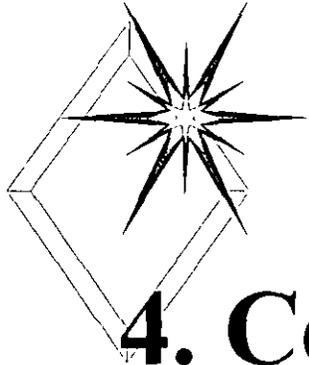
- ◆ **Reducción drástica de la relación agua/cemento.**
- ◆ **Incremento del consumo unitario de cemento.**

Esto trae por consecuencia que se aumente la proporción de pasta cemento y a su vez disminuye la extensibilidad del concreto o sea la resistencia al agrietamiento.



Es evidente que los concretos de alta resistencia tengan tendencia natural a agrietarse más que los concretos normales o de baja resistencia.

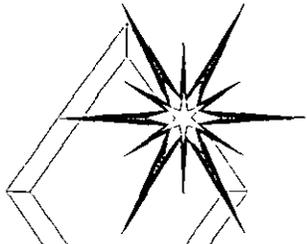
De acuerdo con el modelo holístico del deterioro del concreto no es la resistencia sino la sanidad del concreto (libre de agrietamiento) en condiciones de servicio lo que juega un papel importante en la permeabilidad y la durabilidad.



4. Conclusiones

El concreto es una buena alternativa de construcción siempre y cuando se cumplan los puntos siguientes:

- ◆ **Tener un bajo costo inicial.**
- ◆ **Resista el paso del agua.**
- ◆ **Bajo costo de mantenimiento.**



4. Conclusiones

- 14 -

- ◆ **Si el concreto se agrieta es vulnerable a una variedad de procesos de deterioro y por consecuencia no es durable. La durabilidad es un problema de sanidad del concreto (libre de grietas) y no una debilidad de resistencia mecánica.**



4. Conclusiones

- ◆ **Los concretos denominados de alto desempeño no necesariamente aseguran una larga vida, en términos de durabilidad, en condiciones de servicio en ambientes severos; a menos que se diseñen las mezclas de concreto para una estabilidad dimensional y con el concepto de sanidad o sea que no se agriete.**

4 Conclusiones

- ◆ **Los altos costos de los materiales no convencionales (microsílice, inhibidores de corrosión, recubrimientos epóxicos para acero, recubrimientos externos) para producir el concreto de alta resistencia, así como los métodos constructivos sólo se justifican para algunos proyectos especiales; pero para la mayoría de las estructuras de concreto el uso de esos materiales y métodos son antieconómicos.**



4. Conclusiones

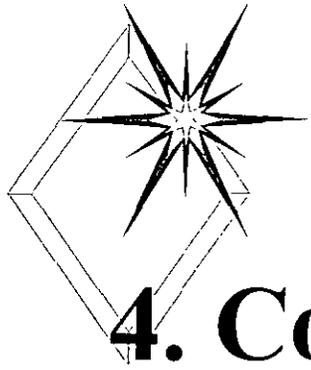
Para la construcción en general se sugiere usar los cementos portland compuestos, en lugar del cemento tipo I que debería de usarse para aplicaciones especiales, por ejemplo, colados en clima frío.

- ◆ Usar cementos con altos contenidos de adiciones como ceniza volante, escoria de alto horno, etc., y diseñar las estructuras, siempre que sea factible, para alcanzar la resistencia de proyecto a 56 ó 90 días en lugar de los típicos 28 días.**

4. Conclusiones

Debemos reconocer que los diseños de mezclas basados únicamente en la relación agua/cemento no son una garantía para lograr concretos impermeables en las condiciones de servicio. Se recomienda bajar tanto como sea posible la cantidad de agua y la del material cementante.

Aumentar tanto como se pueda la cantidad de agregados para reducir la contracción por secado y la contracción térmica y por consiguiente reducir el agrietamiento asociado a la contracción.



4. Conclusiones

- ◆ **Evitar la práctica indiscriminada del uso excesivo del acero de refuerzo para pretender evitar el agrietamiento, ya que está comprobado que se incrementa el microagrietamiento y las grietas no desaparecen, sino que se multiplican con espesores menores.**



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO

**CONFERENCISTA
ING. PEDRO MORA PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO

ING. PEDRO MORA PEREZ *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D F. Tel. 521-4020 al 25, 521-7335 Fax: 410-0573 y 512-5121, internet: fgarza @ tolsa.mineria.unam.mx
Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd. Adolfo López Mateos, No. 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F.
Tel y fax: 272-8981, 272-9011, y 515-3154, email: amicpac @ netmet.com

* Gerente Técnico de Latinoamericana de Concretos, S.A. de C.V.

INTRODUCCIÓN

Referirse al tema de control de calidad del concreto parece sencillo; sin embargo, el llevar un control de la calidad del producto requiere de una serie de actividades que involucran desde la selección y control de los agregados hasta la obtención de muestras del concreto para verificar la calidad del producto; por otro lado, los resultados que se obtienen en el desarrollo de la construcción de una obra habrá que analizarlos estadísticamente para determinar la uniformidad del producto recibido y por ende la calidad del mismo.

En base a esto, el control de calidad del concreto lo basaremos en la Norma Mexicana NMX C 155 tomando en consideración todas la Normas que se enuncian en el apartado de Referencia en el cuerpo de la misma Norma.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.

MATERIA PRIMA:

Agregados.-

El productor de concreto debe seleccionar y aprobar el banco de agregados en base a lo indicado en la NMX C 111 y durante el período de suministro de los mismos debe tener una frecuencia de ensayos de por lo menos una vez a la semana para asegurar la uniformidad y calidad de los agregados.

Los ensayos a realizar a los agregados con mayor frecuencia son, entre otros:

- n Análisis granulométrico
- n Pérdida por lavado
- n Masa específica y absorción
- n Masa volumétrica
- n Materia orgánica en la arena
- n Equivalente de arena
- n Coeficiente de forma del agregado grueso

Conforme a los resultados que se obtengan de los ensayos a los agregados y que éstos cumplan con lo indicado por las especificaciones, en este caso la NMX C 111, podemos decir que ya se ejerce un grado de control.

Nota: No olvidemos que los agregados ocupan entre un 65 y 75% del volumen de la masa de concreto.

Cemento.-

El cemento se debe de elegir en función de las necesidades de obra; es decir, el cemento debe de cumplir con los requerimientos tanto de resistencia mecánica como de durabilidad. Por lo tanto el cemento deberá cumplir con las especificaciones enunciadas en la NMX C 1 o bien en la NMX C 2, dependiendo del tipo de cemento que se haya elegido para un trabajo determinado.

Generalmente el cemento se produce con una calidad uniforme y el fabricante normalmente lleva un control exhaustivo de la misma teniendo una frecuencia muy cerrada de muestreo, por lo que considero suficiente con que se cuente cada 15 días con un certificado de calidad emitido por parte del fabricante en donde nos indique la composición mineralógica del cemento mediante los resultados obtenidos en sus pruebas físicas y químicas que le realiza al mismo. Por otro lado, es conveniente que por cada 1000 a 1500 ton de cemento recibida en la obra o en la planta del productor de concreto se tome una muestra del cemento para ensayarse y verificar los datos emitidos por el fabricante y de que éste cumple con la Norma Mexicana correspondiente.

Agua.-

El agua para fabricar concreto de preferencia debe ser potable; es decir, deberá ser limpia, incolora e inodora.

Se puede emplear agua de procedencia distinta a la potable, siempre y cuando se demuestre que ésta cumple con la NMX C 122 y por otro lado, que no se encuentren efectos negativos en el concreto tales como: Cambios en el fraguado del concreto (Retardo o aceleración), tendencia a la baja de resistencia a la compresión y/o inclusión de aire en cantidades mayores al 2%.

Aditivos.-

En la fabricación de concreto se deben emplear aquellos aditivos que se especifican para tal fin. En caso de no contarse con especificaciones que indiquen el empleo de aditivos, es conveniente emplearlos para mejorar las características del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

Los aditivos químicos para emplearse en la fabricación del concreto deben de cumplir con lo indicado por la NMX C 255.

Si se emplean aditivos distintos a los químicos, estos deberán de cumplir con lo indicado en la NMX C 146 y/o NMX C 200 correspondiente al aditivo en uso.

CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El criterio de aceptación del concreto en estado fresco es básicamente con la prueba del revenimiento y éste debe de cumplir con lo solicitado por el constructor tomando en consideración las tolerancias indicadas en la NMX C 155.

El revenimiento del concreto debe ser determinado inmediatamente a su llegada a la obra. Si se especifica, existen otros criterios de aceptación del concreto en estado fresco tales como:

- n Temperatura
- n Contenido de aire
- n Masa volumétrica

Las especificaciones deben indicar claramente los valores que se requieren en los rubros anteriores y se aplicaran las tolerancias indicadas en la NMX C 155.

CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

El criterio de aceptación del concreto endurecido en el 100% de los casos es la resistencia.

En México aún no se tiene la costumbre de especificar el concreto por efectos de durabilidad; y por norma general se realiza por resistencia a los 28 días.

La Norma Mexicana NMX C155 al igual que el Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal (RCDDF) se refieren a dos Grados de Calidad del concreto endurecido, el grado de calidad A y el grado de calidad B. En el primero, el grado de confianza corresponde al 80%; es decir, de 100 muestras como mínimo 80 deben de cumplir con la $f'c$ solicitada y las restantes podrían quedar por debajo, siendo el valor mínimo aceptable el de $f'c - 50 \text{ kg/cm}^2$. En el segundo caso, el grado de confianza es del 90% y el valor mínimo aceptable es $f'c - 35 \text{ kg/cm}^2$. (Se anexa la Norma NMX C 155 para mayor información).

Si el concreto no llegase a cumplir con los parámetros establecidos por cada grado de calidad, se debe de proceder a realizar una inspección esclerométrica de los elementos colados en los que se tienen duda de la resistencia, a su vez se debe de proceder de la misma manera con otros elementos que si hayan cumplido con la resistencia de proyecto y así determinar comparativamente la situación de los elementos en duda. Posteriormente se procede a la extracción de núcleos en los elementos estructurales en duda en aquellas zonas en donde se haya obtenido los índices de rebote más bajos.

Los núcleos de concreto se deben de obtener, manipular y ensayar conforme a la NMX C 169. Los resultados obtenidos se comparan con los parámetros establecidos por el RCDDF y basándose en ello se determina el proceso de aceptación y/o rechazo de la estructura.

Para controlar la calidad del concreto endurecido, se realizan otros ensayos tales como:

- n Módulo elástico
- n Contracción por secado

Estos dos últimos se realizan con una frecuencia bastante amplia; sin embargo, es importante que se lleven a cabo estos ensayos por lo menos cada 500 m³ de concreto fabricado y así determinar las características físicas del concreto para corroborar su comportamiento y tomar las medidas pertinentes.

EQUIPO DE DOSIFICACION Y MEZCLADO:

La calidad del concreto se logra básicamente cuidando las características de los materiales y por otro lado, el equipo de producción y transporte del mismo debe de mantenerse en condiciones de operación aceptables cumpliendo con las tolerancias de calibración y pesado; asimismo, la uniformidad de mezclado debe mantenerse en los parámetros indicados en la NMX C 155.

REQUISITOS DEL EQUIPO DE DOSIFICACION:

Tolvas de Almacenamiento.-

Las plantas de producción de concreto deben de estar provistas de tolvas de almacenamiento de su materia prima, evitando a toda costa que ésta se contamine entre sí y/o con materias

extrañas. Las tolvas deben permitir la descarga del material que contiene sin obstáculos y con un mínimo de segregación.

Básculas.-

Cualquier báscula que forme parte del equipo de dosificación al momento de su calibración con carga estática debe quedar con una precisión de $\pm 0.4\%$ de su capacidad total; la calibración con carga estática debe realizarse por lo menos en cada cuarto de la capacidad de la báscula.

Las básculas se deben mantener limpias en todas sus partes móviles para evitar fricciones entre las cuchillas, almohadas y cojinetes, con ello se prolonga la precisión de las pesadas.

Las básculas deben ser calibradas al menos una vez al mes, esta frecuencia puede ser cambiada en función del comportamiento del equipo de pesado que tiene cada planta.

Medidores Volumétricos.-

Los equipos de dosificación volumétrica deben de estar calibrados con una precisión máxima del $\pm 1\%$.

Los equipos de dosificación volumétrica no deben ser sensibles al cambio de presión y del caudal de los fluidos que pasan a través de ellos.

DOSIFICACION:

La dosificación del concreto debe realizarse conforme a los proporcionamientos autorizados para tal fin con las correcciones correspondientes (Por contaminación granulométrica, asimismo, por humedad y absorción).

Cemento.-

El cemento debe ser pesado con una tolerancia máxima del $\pm 1\%$ sobre la cantidad requerida en el proporcionamiento, siempre y cuando esta cantidad sea igual o mayor al 30% de la capacidad total de la báscula. Cuando la cantidad de cemento requerida por el proporcionamiento es menor al 30% de la capacidad de la báscula, la tolerancia de pesado es de -0% y $+4\%$ máximo.

Agregados.-

Los agregados dosificados a una sola tolva báscula (peso acumulativo), su tolerancia de pesado es del $\pm 1\%$, siempre y cuando este valor sea mayor al 30% de la capacidad de la báscula. Si el valor requerido de los agregados es menor al 30% de la capacidad total de la báscula, su tolerancia máxima de dosificación será del $\pm 0.3\%$ de la capacidad total de la báscula o de $\pm 3\%$ del peso acumulado requerido, aceptándose el valor que resulte menor.

En el caso de dosificar a los agregados individualmente, la tolerancia de dosificación es del $\pm 2\%$ del peso requerido de cada agregado.

Agua.-

El agua se debe dosificar conforme se requiere por cada proporcionamiento corregido y su tolerancia máxima será del $\pm 1\%$.

Aditivos.-

Los aditivos en polvo se dosifican por peso, los líquidos se dosifican a volumen o por peso, su tolerancia máxima de dosificación es del $\pm 3\%$ sobre la cantidad requerida.

MEZCLADO:

El concreto puede ser mezclado por medio de alguna de las combinaciones que se señalan a continuación:

Concreto mezclado en planta.-

El mezclador central de una planta debe ser operado dentro de los límites de capacidad y velocidad designado por el fabricante del equipo.

El tiempo de mezclado en este tipo de equipo debe ser determinado por las pruebas de uniformidad; en el caso de no contarse con dichas pruebas, el tiempo mínimo aceptable es de un minuto para 1 m³ de concreto. Para equipo de mayor capacidad, por cada m³ o fracción adicional, el tiempo mínimo anterior indicado debe ser aumentado en 15 segundos.

El tiempo de mezclado debe ser contado a partir del momento en que todos los ingredientes se encuentren en el interior de la mezcladora, incluyendo el agua.

El volumen de concreto que puede transportar el camión en este caso es del 80% del volumen total del trompo o contenedor.

Concreto mezclado parcialmente en planta.-

Los ingredientes del concreto se entremezclan en la planta e inmediatamente la carga se transfiere al camión mezclador, éste termina la operación de mezclado girando el trompo a la velocidad de mezclado designada por el fabricante para que el concreto obtenga la uniformidad requerida por la NMX C 155.

Después de haberse mezclado el concreto, debe mantenerse en agitación durante su transporte hasta su entrega a la velocidad designada por el fabricante. (Normalmente de 2 a 6 RPM).

El volumen de concreto que se debe introducir al trompo es del 63% de su volumen total.

Concreto mezclado en camión.-

Cuando el concreto sea mezclado totalmente en el camión mezclador, se requiere que el trompo gire de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado (designada por el fabricante del equipo).

Después de haberse mezclado el concreto, debe mantenerse en agitación durante su transporte hasta su entrega a la velocidad designada por el fabricante. (Normalmente de 2 a 6 RPM).

El concreto debe ser uniforme conforme se indica en la NMX C 155.

El concreto antes de descargarse en la obra debe de mezclarse a la velocidad de mezclado entre 25 y 30 revoluciones para restituir la uniformidad del mismo.

UNIFORMIDAD DE MEZCLADO:

En los tres casos descritos anteriormente, el concreto debe mezclarse hasta obtener la uniformidad indicada por la NMX C 155, los requisitos de uniformidad se mencionan a continuación:

Nota.- Las muestras para los ensayos o pruebas se toman al 15% y el 85% de la descarga del camión revolvedora

REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DE MEZCLADO DEL CONCRETO

Prueba o ensaye	Diferencia máxima permisible entre resultados de prueba con muestras obtenidas en dos porciones diferentes de la descarga *
Masa volumétrica determinada según NMX C 162, calculado sobre la base libre de aire, kg/cm ² .	15
Contenido de aire en % del volumen del concreto determinado según NMX C 157	1
Revenimiento:	
· Si el revenimiento promedio es menor a 6 cm.	1.5
· Si el revenimiento promedio esta comprendido entre 6 y 12 cm	2.5
· Si el revenimiento promedio es superior a 12 cm	3.5
Contenido del agregado grueso retenido en la criba G4.75, expresado en % de la masa de la muestra.	6
Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra, expresado en % (**), determinado de acuerdo a NMX C 83	10

Masa volumétrica del mortero, calculado sobre la base libre de aire, en % (&)	1.6
---	-----

- * Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben de obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga (Principio: del 10 al 15%. Final: del 85 al 90% del volumen)
- ** La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia.
- & La ASTM C 94 también considera este punto que en la NMX C 155 no se toma en cuenta; sin embargo, este parámetro es importante, porque con él determinamos si el concreto se le dio el tiempo de mezclado requerido.

Este pequeño escrito no es la panacea, su objetivo es el sembrar algunas inquietudes sobre el aspecto de control de calidad del concreto desde el punto de vista de materiales.

Para tener mayor información es recomendable apoyarse en la bibliografía que se recomienda a continuación:

ACI 301 "Especificaciones para el concreto estructural en edificios", publicación IMCYC

PCA "Diseño y control de mezclas de concreto" publicación IMCYC

Neville "Tecnología del concreto" publicación IMCYC

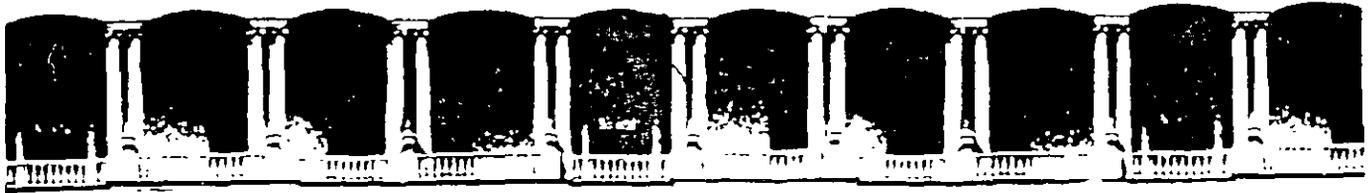
NMX C 1 "Cemento portland"

NMX C 2 "Cemento portland puzolana"

NMX C 111 "Especificaciones para agregados"

NMX C 155 "Especificaciones para el concreto"

NMX C 255 "Especificaciones para aditivos químicos para concreto"



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

**CONFERENCISTA
DECFI -UNAM
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

Aseguramiento de la Calidad

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

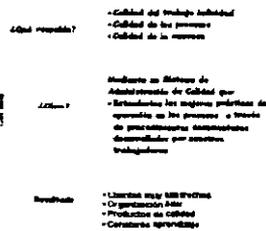
QUE ES CALIDAD ?

Calidad es hacer las cosas bien, desde la primera vez, y cumplir con todos los requisitos que nos pide nuestro cliente. Para lograrlo y exceder en lo posible las expectativas de nuestros públicos internos y externos, debemos escucharlos y conocer sus necesidades, atendiendo de forma amable, eficiente y oportuna.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

QUE ES CALIDAD ?



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

QUE ES UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ?

El sistema de Aseguramiento de Calidad consiste en una serie de lineamientos que seguimos y cumplimos para cubrir estándares de clase mundial, mediante los cuales administramos y garantizamos la excelencia de nuestro trabajo y de los productos que ofrecemos a nuestros clientes.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

QUE ES UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ?

Este sistema abarca los recursos que todos en la organización necesitamos para desarrollar nuestro trabajo y obtener procesos y productos de calidad.

Ejemplos de estos recursos son las herramientas que utilizamos para realizar nuestras tareas: la capacitación, las políticas y procedimientos, que nos dicen cuál es la calidad que se brinda a los clientes y cómo realizar nuestras labores para lograrla.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

QUE BENEFICIOS NOS BRINDA TENER UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ?

- Mantener una actitud proactiva para satisfacer las necesidades de nuestros clientes.
- Participar en todo tipo de obras.
- Trabajar en equipo
- Importante desarrollo personal
- Incrementar nuestra productividad
- Disminuir nuestros costos de producción.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

QUE BENEFICIOS NOS BRINDA TENER UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ?

- * Mantenemos en la vanguardia tecnológica.
- * Mejorar nuestra posición competitiva
- * Estandarizar nuestros procesos internos
- * Propiciar la mejora continua en todo lo que hacemos
- * Garantizar la seguridad para nuestros colaboradores.
- * Contar con los procesos y productos de clase mundial.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (ISO 9001)

- 1.- *Responsabilidad Gerencial*: Revisión periódica por la Dirección, para confirmar que nuestro Sistema de Calidad está siendo aplicado correctamente.
- 2.- *Sistema de Calidad*: Como medio para asegurar la conformidad de nuestros productos con los requisitos especificados.
- 3.- *Revisión de contrato*: Documento a través del cual establecemos los requisitos del cliente.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

- 4.- *Control del diseño del producto*: Diseño, ensayos y confirmación de que nuestros resultados satisfacen lo solicitado por el cliente.
- 5.- *Control de documentos y datos*: para contar con información que demuestre qué solicitó el cliente, qué hicimos nosotros para cumplir sus requerimientos y qué resultados obtuvimos.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

- 6.- *Compras / Suministros*: Procedimientos que utilizamos para el control de productos, materiales o servicios de terceros, que afectan la calidad de nuestro producto o el funcionamiento de nuestro sistema de calidad
- 7.- *Control de productos proporcionados por el cliente*: Para asegurar que su calidad y forma de usarlos son los correctos para lograr la calidad en nuestro proceso.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

- 8.- *Identificación y rastreabilidad*: De forma que en todas las etapas de producción, entrega e instalación podamos identificar el producto por los medios adecuados.
- 9.- *Control del Proceso*: Producción, instalación y servicio que afecten la calidad, con lo que aseguramos que nuestro proceso se lleva a cabo bajo condiciones controladas

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

- 10.- *Inspección y prueba*: para verificar que alcanzamos los requisitos especificados para el producto.
- 11.- *Control de equipo de inspección, medición y prueba*:
Aseguramos su buen funcionamiento, al ser utilizados, para demostrar la conformidad de nuestro producto con los requisitos especificados.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

12.- *Estado de inspección y prueba:* Identificamos, con medios adecuados, si en ese momento nuestro producto cumple o no con los requerimientos (Conformidad o no Conformidad)

13.- *Control de producto no conforme:* lo que hacemos para prevenir, enviar o utilizar producto que no satisface los requerimientos.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

14.- *Acción correctiva y preventiva:* aquellas que aplicamos a problemas reales o potenciales, derivados de la calidad de los productos, de los procesos y en el sistema de calidad

15.- *Manejo, almacenamiento, empaque conservación y entrega:* nos aseguramos de que la calidad e identificación de nuestro producto se conservan en estas etapas del proceso.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

16.- *Control de registros de calidad:* Valiosa información con la que contamos para demostrar la conformidad con los requerimientos especificados y la efectiva operación de nuestro sistema de calidad.

17.- *Auditorías internas de calidad:* Para verificar que nuestras actividades de calidad y resultados relacionados cumplen con lo planeado; y para determinar la efectividad de nuestro sistema de calidad.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

18.- *Capacitación:* para respaldar la calificación de nuestro personal que realiza actividades que afectan la calidad.

19.- *Servicio a los clientes:* Cuando el cliente solicite alguno contamos con procedimientos escritos para planearlos, ejecutarlos, documentarlos

20.- *Técnicas estadísticas:* Cuya aplicación nos permite controlar y verificar la capacidad de nuestro proceso y la calidad de nuestro producto.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

COMO SABER SI NUESTRO SISTEMA DE CALIDAD CUMPLE CON ESTAS CARACTERÍSTICAS ?

Personas con experiencia reconocida acudirán a los distintos centros de trabajo para revisar que se esté cumpliendo con los requisitos antes mencionados.

Para contestar las preguntas que nos hagan estas personas, todos debemos conocer la Política de Calidad y cómo apoyar su cumplimiento, así como las políticas, procedimientos, manuales, plan de calidad y otros documentos que aplican a cada uno de nosotros en nuestro trabajo cotidiano.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

COMO PODEMOS APOYAR EL CUMPLIMIENTO DE LA POLITICA DE CALIDAD ?

En lo referente a satisfacer los requerimientos del cliente, debemos conocer sus necesidades, de manera que colaboremos en atender y solucionar sus quejas en forma amable, eficiente y oportuna.

Así mismo, debemos hacer bien nuestro trabajo apeándonos a los procedimientos.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

COMO PODEMOS APOYAR EL CUMPLIMIENTO DE LA POLITICA DE CALIDAD ?

En cuanto a personal comprometido y de alto desempeño, debemos "ponernos la camiseta" estando siempre dispuestos a trabajar bien, de manera eficaz y esforzándonos continuamente. Debemos aprovechar la capacitación que recibimos y nos ayuda a mejorar nuestro desempeño.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

COMO PODEMOS APOYAR EL CUMPLIMIENTO DE LA POLITICA DE CALIDAD ?

Para el punto de trabajo en equipo y mejora continua, debemos colaborar con las personas y equipos de trabajo de la empresa para alcanzar conjuntamente nuestros objetivos y cumplir las expectativas del cliente.

Debemos aprender de nuestros errores, analizarlos y adoptar medidas para evitar que vuelvan a ocurrir.

Así mismo, hay que tratar a todos con base en la confianza y respeto mutuo, apoyados en una comunicación abierta.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

COMO PODEMOS APOYAR EL CUMPLIMIENTO DE LA POLITICA DE CALIDAD ?

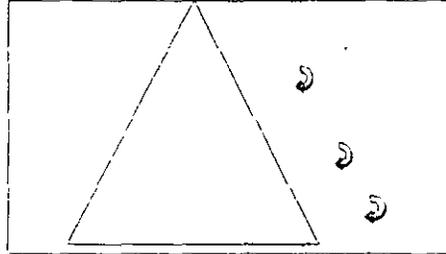
En cuanto a un fuerte nivel de eficiencia y productividad, debemos utilizar y cuidar los recursos de los que disponemos para realizar nuestro trabajo, así como ayudar a nuestros compañeros.

De igual forma, debemos buscar hacer nuestro trabajo rápido, haciéndolo siempre bien desde la primera vez y cumpliendo con los procedimientos.

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

EL SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD CUENTA CON LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

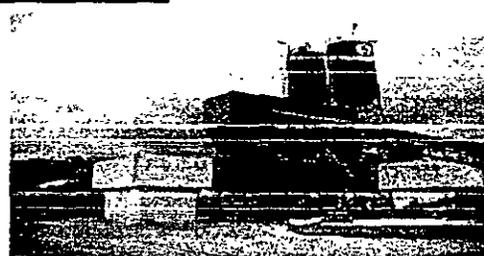
DOSIFICACION

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Planta con Mezclador Central



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Depósito y Tolvas



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM
Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Básculas



Tolerancia {

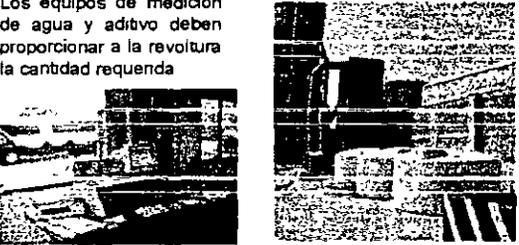
Cemento	± 1%
Agregados	± 2%
Agua	± 1%
Aditivos	± 3%

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM
Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Agua y Aditivos

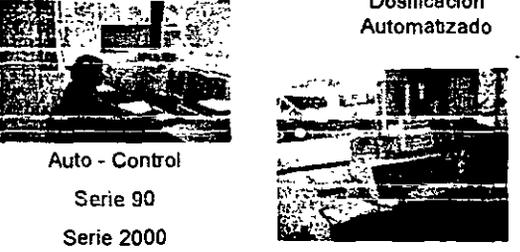
Los equipos de medición de agua y aditivo deben proporcionar a la revolutura la cantidad requerida



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM
Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Sistema de Dosificación Automatizado

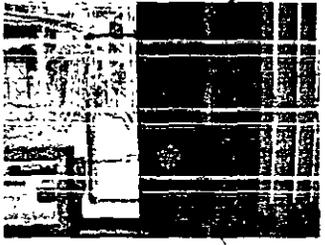


Auto - Control
 Serie 90
 Serie 2000

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM
Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Sensor de humedad de la arena



Voltmetro para control del revenimiento
 Mayo-Junio del 2000

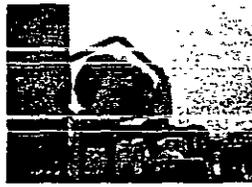
División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM
Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

MEZCLADO

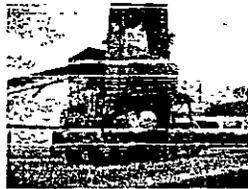
División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM
Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto



Mezcladoras Estacionarias

Camión Mezclador



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Concreto mezclado en camión



De 70 a 100 revoluciones a velocidad de mezclado (de 10 a 12 RPM)

Para mezclado adicional de 2 a 6 RPM

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Garantía de Uniformidad de Mezclado

PRUEBA	Diferencia máx. permisible entre 2 muestras diferentes de la descarga
Peso volumétrico	15 kg/m ³
Contenido de aire	1 %
Revenimiento promedio	
menor a 6 cm	1.5 cm
entre 6 y 12 cm	2.5 cm
mayor a 12 cm	3.5 cm
Contenido de grava	6 %
Prom. de la Resistencia a 7 días	10 %

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

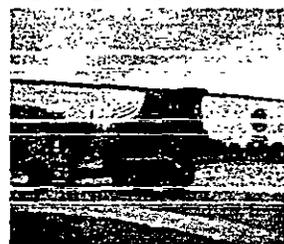
Producción de Concreto

TRANSPORTE

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto



La descarga total del concreto debe hacerse dentro de la hora y media posterior a la introducción inicial del agua de mezclado

En condiciones especiales de temperatura ambiente, empleo de aditivo y otros, el tiempo puede modificarse

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Transporte en camiones de volteo

Caja limpia, metálica, lisa, impermeable con compuerta para controlar descarga y que evite segregación, fuga de lechada o mortero

Cubrir caja para proteger al concreto contra contaminaciones



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000

Producción de Concreto

Consideraciones Importantes

- Factores importantes que afectan al concreto durante su transporte
- Localización de la planta respecto a la obra a la cual se suministra el concreto
- Condición y color de la revolvedora: limpia, sin costras, helicoides o aspas en buen estado. Colores claros reflejan el calor de la radiación solar, los oscuros lo absorben
- El medio ambiente - altas temperaturas

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

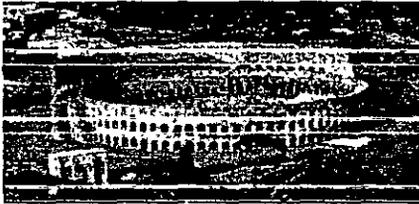
Mayo-Junio del 2000

CALIDAD

¿ Qué es Calidad ?

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

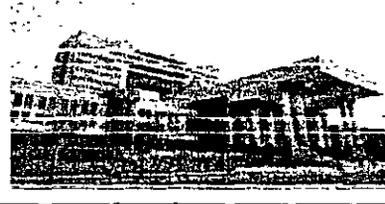
Mayo-Junio del 2000



■ Resistencia, Durabilidad...

División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000



División de Educación Continua
Facultad de Ingeniería UNAM

Mayo-Junio del 2000



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

**ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
(PARTE 2)**

**CONFERENCISTA
ING. CARLOS GÓMEZ TOLEDO
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000.**



CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL CONCRETO Y DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

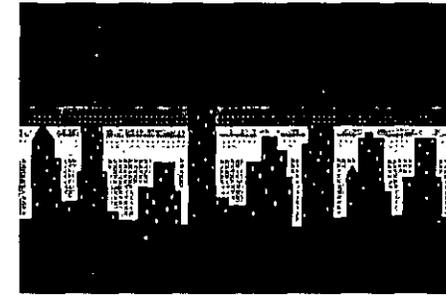
- 2 -



OBJETIVO

PRESENTAR Y DISCUTIR LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE **ASEGURAMIENTO DE CALIDAD**, ASOCIADOS AL CONCRETO COMO MATERIAL COMPUESTO Y A LAS **ESTRUCTURAS** DE CONCRETO COMO EDIFICACION QUE PROVEE ESTABILIDAD A LAS CONSTRUCCIONES

INTRODUCCION



- 1.-¿QUIÉN ES EL RESPONSABLE DE QUE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO SEA CONSTRUIDA SEGÚN FUE DISEÑADA?
- 2.-¿QUE BUSCAMOS OBTENER EN EL CONCRETO, PARA LOGRAR QUE ESTE DESEMPEÑE SATISFACTORIAMENTE SU FUNCIÓN EN LAS ESTRUCTURAS?
- 3.-¿CÓMO SE DESCRIBE UN CONCRETO, UNA ESTRUCTURA, O UN PRODUCTO DE CONCRETO?, ¿QUIÉN ES EL RESPONSABLE DE DEFINIR ESTOS CONCEPTOS?
- 4.-¿CÓMO SE ELABORA UN CONCRETO?
- 5.-¿CÓMO SABER QUE EL CONCRETO PRODUCIDO SÍ TIENE LAS CARACTERÍSTICAS DESEADAS, ANTES DE LLEVARLO A LA ESTRUCTURA? BACHA TRAS BACHA Y DÍA TRAS DÍA.
- 6.-SI EL CONCRETO ELABORADO CUMPLE CON LOS PARÁMETROS PRESCRITOS, ¿CÓMO SABER QUE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO SÍ TENDRA EL COMPORTAMIENTO PREVISTO?

INTRODUCCION



- 7.-¿QUÉ DEBEMOS HACER PARA LOGRAR QUE LA CALIDAD DE UN CONCRETO BIEN PRODUCIDO EN PLANTA SE MANTENGA DURANTE SU TRANSPORTE A LA OBRA, SU RECEPCIÓN Y SU USO HASTA ENDURECER EN LA ESTRUCTURA?
- 8.-¿SON CONFIABLES LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS A LOS MATERIALES Y AL CONCRETO?
- 9.-¿CÓMO PODRÍAMOS DEMOSTRAR QUE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO TENDRÁ BUEN DESEMPEÑO DESPUÉS DE CONSTRUIDA?
- 10.-¿CÓMO RESPALDAR LA CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO?
- 11.-¿QUÉ PODRÍAMOS HACER PARA COMPROBAR LA CALIDAD DEL CONCRETO COLOCADO EN UNA PARTE ESPECIFICA DE UN PROYECTO?

INTRODUCCION



- 12.-¿PUEDE DETERMINARSE QUÉ CAMBIOS TIENE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO CONSTRUIDA, RESPECTO AL PROYECTO ORIGINAL?
- 13.-¿QUÉ GRUPO DE TRABAJO AUTORIZÓ LOS CAMBIOS AL PROYECTO Y EN BASE A QUÉ?
- 14.-MUY POSIBLEMENTE SE COMETEN ERRORES EN LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO Y/O EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS. ¿CÓMO SE RESUELVEN Y SON REGISTRADOS ESTOS EVENTOS?
- 15.- EL PERSONAL QUE TRABAJA EN LAS DIFERENTES ETAPAS RELACIONADAS CON LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO... ¿TIENE SUFICIENTE EXPERIENCIA EN EL PUESTO ACTUAL CON EL QUE COLABORA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO?

**CONCEPTOS
INVOLUCRADOS
EN LA CALIDAD DEL
CONCRETO**

Y

**EN LAS
ESTRUCTURAS
EN OBRA**



- ✓ **Responsabilidades en la Ejecución de un Proyecto**
- ✓ **Concepción del Proyecto. Memoria de Cálculo**
- ✓ **Definición de los Concretos**
- ✓ **Planos y Especificaciones**
- ✓ **Evaluación de Aptitud del Personal y Capacitación**
- ✓ **Selección y Uso de Materiales**
- ✓ **Diseño de Mezclas de Concreto**
- ✓ **Plantas Productoras de Concreto**
- ✓ **Elaboración y Verificación de la Calidad del Concreto
Producido**
- ✓ **Transporte, Recepción y Uso del Concreto
Incluye Capacitación, Acabado, Curado**
- ✓ **Modificaciones del Proyecto**
- ✓ **Laboratorio de Ensayes: Instalaciones, Equipo,
Personal, Procedimientos; Informes**
- ✓ **Reparaciones y reensayos de calidad**
- ✓ **Análisis Estadísticos de Resultados de Pruebas y
Elaboración de Informes**
- ✓ **Registro de Eventos y Archivo**

COMENTARIOS SELECTOS SOBRE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE CONCRETO Y DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO MEXICO

MEXICO 1970'S

✓ Proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde, Ver.

- *Interacción con Empresas Responsables del AC del proyecto.
- *Desarrollo de Manuales MC/MP.
- *Desarrollo de Proveedores Nacionales / Externos.
- *Calibración de Equipos e Instrumentos para
- *Pruebas y Mediciones.
- *Capacitación de Personal en Todas las Areas.
- *Certificación.
- *Laboratorios de Ensayes

COMENTARIOS SELECTOS SOBRE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE CONCRETO Y DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO MEXICO

MEXICO 1980'S

✓ **Diversos Proyectos Requieren ser Ejecutados bajo Conceptos de Aseguramiento de Calidad.**

*Plantas Hidroeléctricas

*Plantas Termoeléctricas, incluyendo PNLV

✓ **Aplicación del Término Contractual "Proyecto Llave en Mano"**

✓ **Aparición del SINALP (Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas) y del CENAM / SNC (Centro Nacional de Metrología / Sistema Nacional de Calibración)**

✓ **Acreditamiento de Laboratorios de Concreto y Autorización de Laboratorios de Metrología.**

✓ **Seminarios Internacionales, Cursos y Difusión de Teoría y Práctica asociada a Aseguramiento de Calidad**

COMENTARIOS SELECTOS SOBRE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE CONCRETO Y DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO MEXICO

MEXICO 1990'S

- ✓ Proyectos Gubernamentales Importantes Aplican Requerimientos de AC. Y muchos otros construidos con financiamiento externo.
- ✓ Involucramiento de Empresas Constructoras en Proyectos que Exigen AC.
- ✓ Mayores Recursos Disponibles para Proyectos que Trabajan bajo AC. Personal, Proveedores, Asesores, Cursos, Etc.
- ✓ Certificación de Técnicos y de Supervisores relacionados con Concreto y Construcción de Estructuras de Concreto. Respaldado por el American Concrete Institute.
- ✓ Actualmente se cuenta ya con Laboratorios de Concreto Acreditados por SINALP/EMA en varias ciudades del país.
- ✓ Insuficiente Actividad sobre Revisión y Aprobación de Normas y Códigos asociados al concreto y a Estructuras de Concreto.
- ✓ El TLC; las Normas ISO 9000; los Organismos Certificadores.

DEFINICIONES

✌ ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Conjunto de actividades planeadas y sistemáticas, que lleva a cabo una empresa, con el objeto de brindar la confianza apropiada de que un producto o servicio cumple con los requisitos asociados al buen desempeño de su función. Incluye estándares reconocidos como “buenas prácticas constructivas”.

✌ CALIDAD

Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, que le confieren ~~la aptitud~~ para satisfacer las necesidades explícitas o implícitas preestablecidas.

DEFINICIONES

✌ CONTROL DE CALIDAD

Conjunto de Métodos y Actividades de Carácter Operativo, que se utilizan durante los procesos, para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad preestablecidos para el producto o servicio. También se incluyen aquí las prácticas constructivas reconocidas como buenas.

✌ ESPECIFICACIÓN

Documento que establece los requisitos o exigencias que el producto o servicio debe cumplir. Incluye tolerancias. Y los métodos de prueba para determinar cada parámetro.

✌ INSPECCIÓN

Actividades tales como medir, examinar, probar o ensayar una o más características de un producto o servicio o comparar a éstas con las exigencias y requisitos especificados para determinar su conformidad.

DEFINICIONES

✌ PLAN DE CALIDAD

Documento que establece las prácticas operativas, los procedimientos, los recursos y la secuencia de las actividades relevantes de calidad, referentes a un producto, servicio, contrato o proyecto en particular.

TEMAS DEL CURSO YA CUBIERTOS

- **Aspectos fundamentales del concreto hidráulico**

- **MATERIALES:**

Cemento

Agregados

Aditivos

Agua

- **DISEÑO DE MEZCLAS**
- **PRODUCCIÓN**
- **SUPERVISION Y CERTIFICACIÓN**
- **TRANSPORTE Y COLOCACION**
- **CONSOLIDACION**

- **ESPECIFICACIONES:**

Control de Calidad

y NMX C-155

(incluye transporte)

- **DURABILIDAD**

TEMAS DEL CURSO AÚN NO CUBIERTOS

- **METROLOGIA Y MANTENIMIENTO**

- ☞ **CALIDAD Y COSTOS**

- ☞ **PRACTICAS ECOLOGICAS EN LA
PRODUCCIÓN DE CONCRETOS**

- ☞ **CONSIDERACIONES ESPECIALES EN LA
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CONCRETO**

- ☞ **FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL
CONCRETO**

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL CONCRETO Y DE EDIFICACIONES DE CONCRETO

Para el ACI (American Concrete Institute)

La construcción de un Proyecto que vaya a ser realizado bajo el esquema de Aseguramiento de Calidad, debe tener un plan de AC que incluya:

- * Política del Dueño**
- * Objetivos de Calidad**
- * Alcance de los trabajos en el Plan de AC**
- * Interrelación de Organizaciones Participantes**
- * Autoridad y Responsabilidad de cada Organización participante en el proyecto**
- * Descripción global del sistema AC establecido para el proyecto. Indicar las Organizaciones que deben establecer e implantar Programas de AC**

Programa de AC describe las políticas, prácticas y procedimientos establecidos por una organización para cumplir con los documentos contractuales.

Cada Organización que participe en la realización del Proyecto debe desarrollar su programa AC.

(Desarrollo e Implementación de Manuales MC/MP)

CONTROL DE DISEÑO

DOCUMENTAR EL DISEÑO AL DETALLE NECESARIO QUE PERMITA A UNA PERSONA CALIFICADA ENTENDER Y VERIFICAR LOS DOCUMENTOS DEL DISEÑO DEFINITIVO
Esto Implica:

Identificar las bases de l diseño:

Suposiciones; métodos

Reglamentos

Normas

Memoria de Cálculos

Documentada

Revisada y Aprobada

Planos

Revisión y Aprobación, para asegurar.
Incorporación de resultados de los
diseños

Materiales

Procesos

Factibilidad de construcción

Planos

Revisión y Aprobación, para asegurar:

- Incorporación de resultados de los diseños
- Materiales
- Procesos
- Factibilidad de construcción

Modificaciones de Proyecto

Generales en gabinete

Generales en campo

La ingeniería de Diseño debe interactuar con otras organizaciones similares, para cubrir responsabilidades relacionadas con :

- **Aclaraciones sobre Conceptos de Diseño**
- **Revisión y aprobación de Cambios Generales en Campo**
- **Control de Especificaciones, Planos, Etc.**
- **Distribución de Documentos de Diseño Revisados**
- **Revisión de Documentos de Entrega de Materiales al Contratista**

- **Revisión de Procedimientos Constructivos**
- **Solución de inconformidades**

- **Evidencia del Desempeño de los Contratistas**
- **Croquis de Campo y Planos de Trabajo**
- **Procedimientos de Calidad de los Contratistas**
- **Informes Técnicos y Fotografías**

CONTROL DE MATERIALES

ESTABLECER CONTROL SOBRE LOS MATERIALES INGREDIENTES DEL CONCRETO Y OTROS MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO, PARA ASEGURAR QUE LOS MATERIALES SATISFAGAN LOS REQUERIMIENTOS CONTRACTUALES, ANTES DE USARLOS.

Los controles pueden incluir:

SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PROVEEDORES

Capacidad para fabricar los materiales requeridos

Suministro oportuno de los materiales, asociado a la demanda requerida para cumplir con el programa de construcción del proyecto

SE DEBE ESTABLECER UN MECANISMO PARA LA ENTREGA DE INFORMES DE CALIDAD, PARA VERIFICAR QUE LOS MATERIALES CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL CONTRATO

ASIMISMO, VERIFICAR LAS ACTIVIDADES DEL PROVEEDOR A TRAVÉS DE SUPERVISIÓN O AUDITORÍA EFECTUADA CON UNA FRECUENCIA CONSISTENTE CON LA IMPORTANCIA DEL PROYECTO, SU COMPLEJIDAD Y EL VOLUMEN DE PRODUCTO O SERVICIO INVOLUCRADO.

DOCUMENTOS DE ENTREGA DE MATERIALES

DEBE HABER UNA PERSONA U ORGANIZACIÓN RESPONSABLE DE LA ENTREGA DE MATERIALES. Y DE ASEGURAR QUE EN LOS DOCUMENTOS DE COMPRA DE MATERIALES SE INCLUYE SUFICIENTE INFORMACIÓN PARA SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO; ASI MISMO, SE INDICA LA OBLIGACIÓN DE LLEVAR REGISTROS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES, PARA VERIFICAR CUMPLIMIENTO DE CALIDAD.

Los Documentos de Entrega de Materiales deben especificar:

- **Objetivo del trabajo que será ejecutado**
- **REQUERIMIENTOS TÉCNICOS, incluyendo referencias aplicables a Especificaciones, Reglamentos, Planos y Normas**
- **Derecho de acceso a la información, para Inspección**

INSPECCIÓN EN LA RECEPCIÓN

- **Inspección para verificar Identificación de materiales, para comprobar esté completo y sin daños.**
- **Aceptación del material por Inspección o Ensaye**
- **Segregación y manejo de material rechazado, para prevenir su uso por inadvertencia.**

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIAL

- Donde se requiera un almacenamiento específico y métodos de manejo de los materiales...

DEBEN IMPLANTARSE ACTIVIDADES DE VERIFICACIÓN (Apoyandose en prácticas reconocidas), PARA ASEGURAR SE APLICAN MEDIDAS ADECUADAS PARA EL ALMACENAMIENTO Y PARA LAS TÉCNICAS DE MANEJO DE MATERIALES.

Ejemplos: Cemento Agregados, Aditivos; Especímenes para ensayos.

CALIFICACIÓN DE MATERIALES

SE DEBEN EFECTUAR PRUEBAS Y EVALUAR LOS RESULTADOS, ANTES DEL USO DE LOS MATERIALES, PARA ASEGURAR SU CUMPLIMIENTO CON EL DOCUMENTO CONTRACTUAL.

Las pruebas específicas que deben efectuarse a los materiales y los requerimientos por cumplir deben establecerse en el contrato.

REGISTROS

DEBEN REGISTRARSE LAS CALIFICACIONES QUE RESPALDAN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES.

- **Certificados de calidad del cemento, procedente de la fábrica.**
- **Documentos de entrega de agregados, de aditivos.**
- **Informes de ensayos a materiales y de Actividades de Inspección.**
- **Evidencia de la calidad del mortero de azufre, de los agregados, del agua, de hielo, de fibras, de materiales desmoldantes, de membrana de curado, etc.**

INSPECCIÓN

SE DEBE ESTABLECER E IMPLANTAR UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN, PARA ASEGURAR QUE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y LOS MATERIALES CUMPLEN CON LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES.

Debe Incluir Cambios al Proyecto, generados en Campo Incluye:

PERSONAL para actividades de Inspección.

- Las inspecciones deben ser efectuadas por Individuos Calificados; personal diferente al que ejecuta las actividades que son inspeccionadas. No Juez y Parte.
- Los INSPECTORES deben ser calificados por el Ingeniero representante del Dueño.
- Apoyo valioso: Certificaciones ACI

PROGRAMA de Inspección

- Debe incluir “checklists” para sistematizar la inspección de los diferentes aspectos constructivos, para verificar su cumplimiento en el contrato. Al respecto es muy útil la guía ACI SP-2.

Los requerimientos de INSPECCIÓN podrían incluir:

- **Inspección de los sistemas de Cimbras**
- **Instalación adecuada del Acero de Refuerzo**
- **Calidad del Concreto: resultados de pruebas, colocación del concreto, curado, etc.**
- **Requisitos para Remoción de Cimbras**
- **Trabajos de Reparación**
- **Extracción de núcleos de concreto**
- **Muestras y Ensayes**

Los requerimientos de INSPECCIÓN podrían incluir:

- **Condiciones Climáticas**
- **Adherencia y Sistema de Juntas**
- **Operaciones de Nivelación y Alineamiento**
- **Procedimientos para dar los Acabados**
- **“ GROUTEO ”**
- **Operaciones para aplicar Recubrimientos de Protección**
- **Fotografías mostrando secuencia de los trabajos, progresos de la obra, detalles constructivos.**

REGISTROS de las actividades de Inspección

LA INFORMACION REGISTRADA DE LOS TRABAJOS DE INSPECCIÓN DEBE ESTAR DISPONIBLE PARA CONSULTA DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN, Y DESPUÉS DE CONSTRUIDA, SEGÚN INDIQUE EL DOCUMENTO CONTRACTUAL

Los requerimientos de INSPECCIÓN podrían incluir:

Debe haber un Grupo de Trabajo (para el proyecto) que sea el responsable de retener, validar y transmitir la información de Inspección generada.

Los Registros para Inspección deben Incluir:

- Fecha de la Inspección
- Area o sistema inspeccionado
- Parte inpeccionada
- Resultados de la Inspección
- Criterios de Aceptación
- Manifestación de cumplimiento o no de la parte especificada.
- Observaciones complementarias
- Firma del Inspector
- Condiciones Climáticas

Ensayes y Evaluación de Resultados

Objetivo: Producir datos confiables que permitan evaluar la estructura completa construida.

Consideraciones Fundamentales:

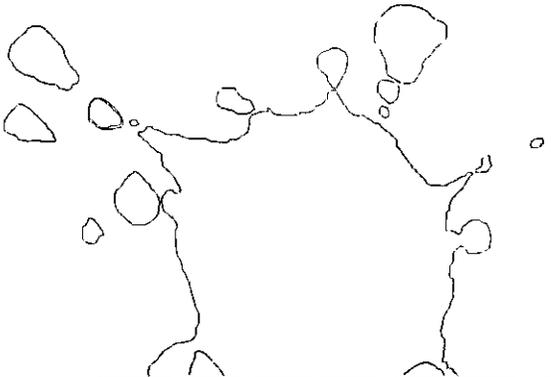
- ☺ Los Ensayes deben ser efectuados por personal calificado; diferente al que suministró, transportó, y colocó el concreto o los materiales para concreto
frecuencia de ensayos: en el Contrato.
- ☺ El programa de Muestreo y Ensayes debe Incluir:
 - ◆ Materiales utilizados para elaborar concreto
 - ◆ Diseños de Mezclas
 - ◆ Propiedades del concreto en estado plástico y también endurecido.
- ☺ La evaluación de los resultados debe efectuarse al concluir los ensayos a los materiales.
 - ◆ Por una Persona Calificada
 - ◆ Utilizando criterios establecidos en los documentos contractuales
 - ◆ Destacar resultados adversos. Notificación inmediata al Representante del Dueño y al Constructor.

REGISTROS DE Ensayes

Necesario incluir la siguiente información:

- ☺ **Fecha de la Prueba**
- ☺ **Area o sistema donde se utiliza el material**
- ☺ **Método de Prueba**
- ☺ **Resultados de la Prueba**
- ☺ **Criterios de Aceptación**
- ☺ **Mención de cumplimiento o incumplimiento**
- ☺ **Observaciones**
- ☺ **Firma del Responsable de la Prueba.**

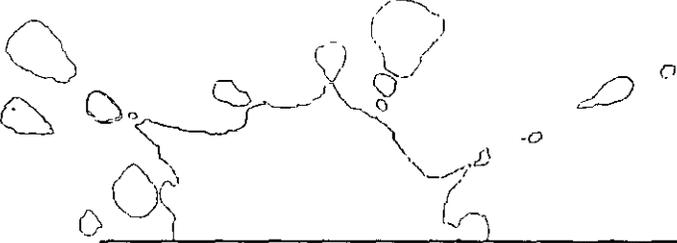
Los registros de evaluación de resultados de pruebas deben estar disponibles para consulta durante la construcción de la obra. Y posteriormente según indique el Contrato.



IDENTIFICACIÓN Y SOLUCIÓN DE INCUMPLIMIENTOS DE CALIDAD

LOS MATERIALES Y PROCESOS / SISTEMAS QUE NO SATISFAGAN LOS REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO DEBEN SER INMEDIATAMENTE IDENTIFICADOS Y EVALUADOS, PARA IMPLANTAR ACCIÓN CORRECTIVA

- **REPARACIÓN.** Restauración del trabajo hasta alcanzar condición aceptable.. aunque no satisfaga los requerimientos originales. Necesario especificar previamente cómo evaluarla.
 - **REHACER.** Restauración del incumplimiento hasta cumplir requerimientos originales.
 - **ACEPTACIÓN COMO ESTÁ.** Condición que satisface requerimientos funcionales de ingeniería, incluyendo desempeño, uso, seguridad.
 - **RECHAZO.** Parte inadecuada para su proposito; no puede ser económicamente reparada o rehecha. Debe ser segregada o removida.
- 



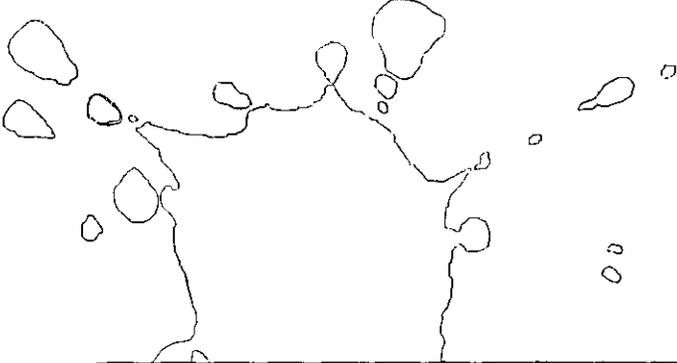
Ejemplos de Incumplimiento de Calidad

- Resistencias inferiores a los requerimientos
- Calidad de arena deficiente: No satisface granulometría; PL excesiva
- Básculas de planta de concreto debían haber sido calibradas hace una semana
- En el colado de un muro, la cimbra sufrió una botadura; y se presentó un cacarizo importante
- No hay buena unión en el traslape de bandas de PVC en el tanque que desean colar ahora.
- El concreto en unas losas coladas ayer presenta numerosos agrietamientos y manchas de color blanco.

REGISTROS GENERALES

LAS ORGANIZACIONES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO DEBEN GENERAR LOS REGISTROS O DOCUMENTOS QUE APORTEN EVIDENCIA DE LA CALIDAD DE: MATERIALES, EQUIPOS, PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS, ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN, ETC.



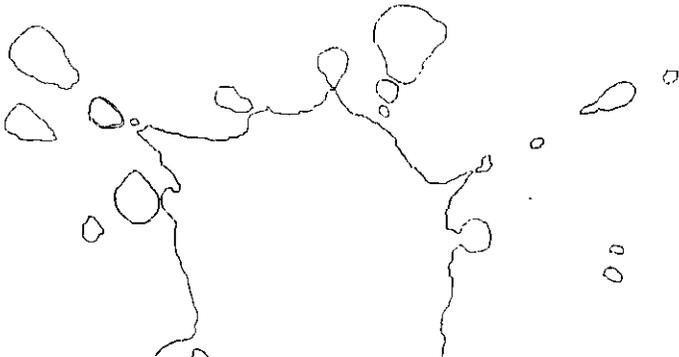


REGISTROS GENERALES

Cada organización es responsable del contenido técnico y de la veracidad de la información. Los registros y documentos deben oficializarse con firmas y estar fechadas.

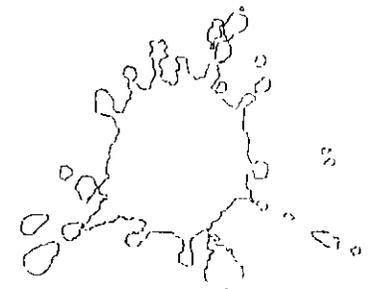
Ejemplo de Documentos o Registros que puede requerir un Proyecto de Construcción de Estructura de Concreto.

- ✓ **Documentos Contractuales**
 - ✓ **Procedimientos / Instructivos de Calidad**
 - ✓ **Registros de Calificación de Personal**
 - ✓ **Memorias de Cálculo y Planos de Diseño**
- 



REGISTROS GENERALES

- ✓ **Especificaciones**
- ✓ **Documentos de Adquisición de Materiales**
- ✓ **Registros de Calificación de Materiales**
- ✓ **Cambios en el Diseño del Proyecto**
- ✓ **Informes Técnicos, Fotos, Etc.**
- ✓ **Registros de Ensayes e Inspecciones**
- ✓ **Informes de Incumplimientos de Calidad**
- ✓ **Diseños de Mezclas de Concreto**
- ✓ **Bitácoras**





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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

CALIDAD Y COSTOS

**CONFERENCISTA
ING. JOSÉ FIDEL CORTÉS CARMONA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

CALIDAD Y COSTOS

Desde épocas inmemorables la humanidad siempre ha buscado obtener beneficios hacia conveniencias de orden común en el sentido de adquirir calidad en las cosas que le rodean. Esta situación se presentó primero en los objetos que le rodeaban y de los cuales seleccionó a su manera de ver los que a simple vista le satisfacían, basándose en la observación de su entorno.

En función de este y otros conceptos el hombre empezó a comparar y a determinar de alguna manera la diferencia que existía entre objetos que aparentemente eran iguales. De alguna manera pudo determinar que cosas eran más durables, con menor tiempo de elaboración y de materiales fáciles de conseguir, para utilizarlas como instrumentos de trabajo y logrando una entera satisfacción a sus necesidades. Desde ese momento se puede decir que ya nacía el término **CALIDAD Y COSTOS**, al distinguir aquello que cumplía sus requerimientos y necesidades con el menor esfuerzo e inversión.

Del grado de satisfacción a sus necesidades definidas, en la adquisición y/o consumo de un producto se deriva los términos de calidad y costos. Por tal motivo desglosaremos algunos de los puntos que debemos considerar para lograr una optimización eficiente y económicamente favorable en la *Producción del Concreto Premezclado*.

Partimos de la necesidad de cumplir ciertos índices normativos en cualquier proyecto constructivo debiendo cubrir las necesidades definidas por nosotros mismos, para poder comparar resultados del producto llamado *Concreto Premezclado*: surge la palabra **CALIDAD**, la cuál participará como un factor primordial en nuestro proyecto

Tomando como base la definición de Concreto como una mezcla elaborada con un cementante, agregado grueso, agregado fino, agua y aditivo.

Se tendrá que tomar en cuenta, las siguientes combinaciones para llegar una **CALIDAD** óptima.

Combinación	Definición
Relación A/C	Relación Agua - Cemento - ES la resultante de dividir la cantidad de agua utilizada para un metro cúbico de concreto, dividida entre la cantidad de cemento requerida para la misma unidad
Relación G/A	Relación Grava - Arena:- Es la resultante de dividir la cantidad de grava utilizada para un m ³ de concreto, dividida entre la cantidad de arena requerida para la misma unidad.
Cantidad de aditivo	Son los cc ³ por kilo de cemento, que requiere la mezcla de concreto para reducir la cantidad de agua que se le agrega a la misma

¹ Centímetros cúbicos

Como mencionamos anteriormente, el concreto se compone de cinco elementos diferentes para su resultante.

Por esto influyen primordialmente para obtener una calidad requerida del producto, la dosificación que sea la más adecuada para optimizar los resultados esperados y al bajo costo que cubrirán dos necesidades al mismo tiempo denominadas mayor **CALIDAD** al menor **COSTO**.

Cuando surge la libre competencia en las Sociedades Mercantiles, surgen nuevas necesidades de mantener como **EMPRESA** en el ramo en el cuál se desarrolla. Esperando siempre cumplir con su producto de una **CALIDAD** definida y además optimizar los recursos e insumos que se necesitan para obtener dicho producto al menor costo; buscando una ganancia en el proceso que se denomina **UTILIDAD**, término por el cual tendrá o no vigencia la **EMPRESA** dentro de cualquier Sociedad.

En el área del *Premezclado*, es común imponerse un reto con dos palabras que son **CALIDAD** y **COSTO**, motivo por el cuál se mueven las Empresas que pertenecen a esta área.

En las Empresas del *Premezclado* existen dos grandes grupos que son primordiales en el proceso del Concreto y son:

Grupo	Actividad
Técnico - Productivo	Departamento encargado de analizar, dosificar, producir y valorar la resultante.
Contable - Administrativo	Departamento encargado de analizar, plasmar y vigilar con que costo se obtuvo la resultante.

Es muy común en las Empresas *Premezcladoras*, Constructoras u otras del ramo Constructivo, realizar y definir su alcance de cada departamento (Técnico - Productivo y Contable - Administrativo). Sin ver o tratar de ver, más sin sentir o tratar de entender porque siempre sale a relucir la palabra **OPTIMIZAR**, palabra que engloba **HACERLO BIEN, ALA PRIMERA y AL MENOR COSTO**.

Trataremos de explicar a continuación los puntos que debemos vigilar para no desviarnos del costo programado y que debemos cumplir para entregar buenos resultados a c/u de nuestras Empresas.

Materia Prima + Costo Fijo + Costo Variable = Costo Total

Componentes del costo Total	Definición
Costo Fijo	El costo que se conforma de los gastos que se producen en promedio para un m ³ de las áreas de Producción, Administrativas y Ventas en general
Costo Variable	El costo que se conforma de insumos necesarios para la producción y que se define de acuerdo al promedio por m ³ producido
Materia Prima	El costo que representa, la cantidad que se requiere en INSUMOS para la producción de un m ³ de Concreto de una F' C definida.

Costo Fijo

- ◆ Mantenimiento de ollas
- ◆ Mantenimiento de otros
- ◆ Mantenimiento de otros
- ◆ Mano de obra
- ◆ Renta de inmuebles
- ◆ Vigilancia
- ◆ NO deducibles
- ◆ Teléfono y comunicación
- ◆ Instalación
- ◆ Seguros
- ◆ Otros
- ◆ Costos de administración
- ◆ Costos de venta
- ◆ Depreciación

Costo Variable

- ◆ Combustible de ollas
- ◆ Combustible de otros
- ◆ Aceites y lubricante

Materia Prima

- ◆ Costo del cemento
- ◆ Costo de la grava
- ◆ Costo de la arena
- ◆ Costo del agua
- ◆ Costo del aditivo



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

**CALIDAD Y COSTOS
(PARTE 2)**

**CONFERENCISTAS
ING. FELIPE GÓMEZ SÁNCHEZ
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA

CALIDAD Y COSTOS



OBJETIVO:

CONSIDERAR LOS FACTORES QUE ENTRAN EN JUEGO Y QUE SIRVEN PARA IMPLANTAR, COMPARAR Y ACTUALIZAR LOS RECURSOS QUE NOS LLEVEN A UNA ADECUADA UTILIZACIÓN DE LOS MISMOS BASÁNDOSE EN LA CALIDAD Y EL COSTO.

ING. FELIPE GÓMEZ SÁNCHEZ.

CALIDAD Y COSTOS

DESDE ÉPOCAS INMEMORABLES LA HUMANIDAD SIEMPRE HA BUSCADO OBTENER BENEFICIOS HACIA CONVENIENCIAS DE ORDEN COMÚN EN EL SENTIDO DE OBTENER CALIDAD EN LAS COSAS QUE LE RODEAN. ESTA SITUACIÓN SE PRESENTÓ PRIMERO EN LOS OBJETOS QUE LE RODEABAN Y DE LOS CUALES SELECCIONÓ A SU MANERA DE VER LAS QUE A SIMPLE VISTA LE SATISFAGAN BASÁNDOSE EXCLUSIVAMENTE EN LA OBSERVACIÓN DE LOS OBJETOS QUE LE RODEAN. EN FUNCIÓN DE ESTE Y OTROS CONCEPTOS EL HOMBRE EMPEZÓ A COMPARAR Y A DETERMINAR DE ALGUNA MANERA LA DIFERENCIA QUE EXISTÍA ENTRE OBJETOS QUE APARENTEMENTE ERAN IGUALES.

DE ALGUNA MANERA PUDO DETERMINAR QUE COSAS ERAN MAS DURABLES, ERA MUY FACTIBLE LA PERMANENCIA DE LOS OBJETOS QUE UTILIZABA COMO INSTRUMENTOS DE LABRANZA, CAZA ETC.

DE ESA FORMA COMENZÓ A SELECCIONAR ENTRE LA NATURALEZA LO QUE LE SERVÍA Y A DESECHAR LO QUE NO SATISFACÍA SUS NECESIDADES, DESDE ESE MOMENTO SE PUEDE DECIR QUE YA SE INTERESABA POR LO QUE PODEMOS MENCIONAR COMO CALIDAD, A AQUELLO QUE SATISFACE AL CONSUMIDOR POR REUNIR LAS CARACTERÍSTICAS QUE EL DESEA DEL PRODUCTO ADQUIRIDO.

LA CALIDAD DEL PRODUCTO COMO FACTOR DE LA ESTRATEGIA DE LA EMPRESA

EL CONCEPTO CALIDAD, TAN UTILIZADO PARA SEÑALAR LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO (BIEN O SERVICIO), Y LAS CONDICIONES O CUALIDADES QUE EL CONSUMIDOR LE EXIGE A ESTE, CONSTITUYE EN NUESTROS TIEMPOS UNO DE LOS FACTORES ESTRATÉGICOS MAS IMPORTANTES PARA ALCANZAR RENDIMIENTOS SUBSTANCIOSOS EN LAS OPERACIONES DE LOS NEGOCIOS, COMO TAMBIÉN PARA ALCANZAR Y MANTENER UNA PARTICIPACIÓN ALTA EN EL MERCADO. LA CALIDAD ESTA ASOCIADA AL BIENESTAR DE LA GENTE. LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO QUE MAS CONTRIBUYEN A ESTE BIENESTAR ESTÁN DEFINIDAS POR EL CONSUMIDOR, SIN EMBARGO, QUIEN DECIDE QUE PRODUCIR ES LA EMPRESA, NO SERVIRIA DE MUCHO SI SE PERDIERA DE VISTA EL "QUE TAN ADECUADA PARA EL USO" ES EL BIEN O SERVICIO QUE PRODUCIMOS PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DEL CONSUMIDOR, CONSIDERANDO SU PUNTO DE VISTA Y EL VALOR ASIGNADO A LOS ATRIBUTOS QUE PARA EL SON LOS MAS IMPORTANTES, LA EMPRESA DEBE SIN EXCEPCIÓN, CUMPLIR SU ROL DE GENERADOR Y PROVEEDOR DE LOS SATISFACTORES QUE LA SOCIEDAD LE DEMANDA ACORDE AL PUNTO DE VISTA DEL CLIENTE, YA QUE ESTE ES EL QUE TENDRÁ LA ÚLTIMA PALABRA SOBRE "QUE TAN BUENO ES" EL PRODUCTO.

ES CLARO TAMBIÉN QUE ESTA SITUACIÓN HA IDO EVOLUCIONANDO CON EL TIEMPO. EL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y SU IMPACTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y DEL NOTABLE INCREMENTO EN LA COMPETENCIA EN LOS MERCADOS HA IDO POCO A POCO AUMENTANDO LAS ESPECTATIVAS DE LOS CLIENTES Y CONSUMIDORES. ESTOS ESTÁN CADA DÍA MAS ATENTOS AL "FACTOR CALIDAD" Y SE HA IDO INTERNACIONALIZANDO LA IDEA DE QUE EN TIEMPOS

DE ESCASÉZ NO PODEMOS DESAPROVECHAR EN LO MAS MÍNIMO NUESTROS RECURSOS Y POR EL CONTRARIO, NUESTRO DEBER COMO ANTE ESTA SITUACIÓN EL PRODUCIR CON CALIDAD NO SOLO ES PARA LA EMPRESA INDISPENSABLE, SINO ADEMÁS UN FACTOR ESTRATÉGICO DE PRIMERA MAGNITUD QUE TAMBIÉN CONLLEVA UN RETO ECONÓMICO Y TECNOLÓGICO.

EL RETO SE EXPRESA COMO:

- 1.- PRODUCIR CON EXCELENTE CALIDAD
- 2.- HACERLO CON LOS MENORES COSTOS

LO PRIMERO, PORQUE NOS FORTALECE ANTE LOS COMPETIDORES Y ATRAE LAS PREFERENCIAS DE LOS CONSUMIDORES HACIA NUESTROS PRODUCTOS.

LO SEGUNDO PORQUE PODEMOS MANEJAR UN PRECIO COMPETITIVO Y OBTENER LAS UTILIDADES ESPERADAS.

¿ QUE FACTORES PERMITEN A LA EMPRESA PRODUCIR CON CALIDAD?

EN GENERAL PODEMOS SEÑALAR COMO FACTORES VITALES PARA ALCANZAR ESTE RESULTADO (EN PARTICULAR PODRÍAN SER MÁS, LO MISMO EN CUANTO A SU IMPORTANCIA Y EN DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS UN FACTOR ESPECÍFICO PODRÍA VERSE MAS TRASCENDENTE):

- 1.- LA FUERZA DE TRABAJO
- 2.- LA TECNOLOGÍA
- 3.- LOS MATERIALES
- 4.- LOS SISTEMAS.

AL CONSIDERAR LA "FUERZA DE TRABAJO COMO FACTOR DETERMINANTE DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS" NO DEBEMOS EXCLUIR AL DIRECTOR, GERENTE O SUPERVISOR QUIENES CONSTITUYEN UNO DE LOS RECURSOS HUMANOS DE MAYOR IMPORTANCIA PARA UNA ORGANIZACIÓN. A ELLOS Y A SUS EQUIPOS DE TRABAJO, LES PEDIREMOS:

- 1.- ACTITUD POSITIVA PARA PRODUCIR CON CALIDAD.
- 2.- ACTITUD RESPONSABLE ANTE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS.
- 3.- ACTITUD A AUMENTAR SIMULTANEAMENTE LA CALIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.
- 4.- ACTITUD DE TRABAJAR Y PROGRESAR EN EQUIPOS (CIRCULOS DE CALIDAD).
- 5.- CAPACIDADES TÉCNICAS ADECUADAS PARA ALCANZAR UN BUEN DESEMPEÑO EN LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA, LA CUAL ESTARÁ EN GRAN PARTE DETERMINADA POR LOS CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIAS Y ENTRENAMIENTO DE LA PERSONA.
- 6.- ALTO GRADO DE MOTIVACIÓN, QUE EN PALABRAS SIMPLES SIGNIFICA "CUANTO" SE QUIERE O SE DESEA O TENER ALGO.

UN EJEMPLO NOTABLE ES LA GRAN ASIMILACIÓN DEL CONCEPTO DE CALIDAD ALCANZADO POR LAS EMPRESAS JAPONESAS EN LOS ÚLTIMOS CUARENTA AÑOS, QUE ASOCIADO A SU CRECIENTE RITMO DE AUMENTO EN LOS NIVELES DE PRODUCTIVIDAD LES HA PERMITIDO LOGRAR UNA PENETRACIÓN MUNDIAL CON SUS PRODUCTOS Y SIMULTANEAMENTE UN CRECIMIENTO Y FORTALECIMIENTO DE GRANDES SECTORES INDUSTRIALES.

LA TECNOLOGÍA JUEGA UN ROL MUY IMPORTANTE TANTO EN LA PRODUCTIVIDAD COMO EN EL NIVEL DE CALIDAD CON QUE ESTA ASOCIADA. SIGNIFICA UNA MEJORA CONSTANTE EN LOS EQUIPOS Y FORMAS DE PRODUCIR, QUE ADEMAS DE LOS ASPECTOS FISCALES QUE IMPLICA (A FAVOR DE LA EMPRESA), HA PERMITIDO ALCANZAR ALTOS VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN, MENORES COSTOS UNITARIOS, ESTABILIDAD Y CONFIABILIDAD EN EL NIVEL DE CALIDAD Y HA PROPICIADO EL DESEMPEÑO DEL TRABAJADOR EN UN NIVEL MAS INTELECTUAL LA MAYOR RIQUEZA DEL HOMBRE.

LA TECNOLOGÍA, PRODUCTO DE LOS ESFUERZOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO QUE REALIZA LA SOCIEDAD, SE CONSTITUYE EN NUESTRA EPOCA EN UNO DE LOS FACTORES QUE MAS CONTRIBUYE CON SU DINAMISMO Y CONSTANTE INNOVACIÓN A INCREMENTAR PRODUCTIVIDAD Y LA CALIDAD.

POR SU PARTE, LOS MATERIALES O INSUMOS EN GENERAL, SE HAN MULTIPLICADO EN VARIEDAD, COSTOS Y CARACTERÍSTICAS, LO CUAL PERMITE DISPONER DE UNA GAMA MAS AMPLIA DE ELLOS, AL MOMENTO DE SU SELECCIÓN. POR SUPUESTO QUE LA "CALIDAD DE LOS INSUMOS" ES DETERMINANTE EN LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS Y LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS QUE GENERAN.

AL COMPRAR SE DEBE CUIDAR LA SELECCIÓN DE INSUMOS, PROVEEDORES Y CONDICIONES, YA QUE DE ESTA MANERA ESTARÉMOS FORTALECIENDO UNO DE LOS ESLABONES MAS IMPORTANTES EN LA "CADENA" DE LOS FACTORES QUE GENERAN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTORES (BIENES O SERVICIOS).

EL ÚLTIMO FACTOR, Y NO POR ELLO EL MENOS IMPORTANTE, LO CONSTITUYEN LOS "SISTEMAS".

HOMBRES, TECNOLOGÍA Y MATERIALES REQUIEREN SER INTEGRADOS Y COORDINADOS PARA ASEGURAR EL AVANCE CONSTANTE HACIA MEJORES NIVELES DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD; PARA ESTO ES NECESARIO CONTAR CON MÉTODOS O SISTEMAS QUE OPTIMICEN TODAS LAS FUNCIONES DE LA EMPRESA. ASÍ TENEMOS:

- 1.- SISTEMAS ADMINISTRATIVOS
- 2.- SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES
- 3.- SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
- 4.- SISTEMAS DE CONTROL.

EN CONCLUSIÓN:

DESDE UN PUNTO DE VISTA ESTRATÉGICO, LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS HA DEMOSTRADO SER UNO DE LOS FACTORES QUE MAS SE IDENTIFICA CON LAS EMPRESAS EXITOSAS, QUE MAS FORTALECE LA RELACIÓN ENTRE EMPRESA Y CLIENTE, HACIENDOLA MAS DURADERA Y BENEFICIOSA PARA AMBOS; QUE EN EL MEDIANO Y LARGO PLAZO ES ALTAMENTE RENTABLE, ECONÓMICAMENTE HABLANDO Y ESTIMULA UNA CRECIENTE PARTICIPACIÓN DE LA EMPRESA EN LOS MERCADOS, ES POR LO TANTO DE INTERES PARA LOS EMPRESARIOS DE "AMIC" CONSIDERAR LA IMPORTANCIA QUE TIENE LA "CALIDAD DEL PRODUCTO" PARA SU EMPRESA Y CONSECUENTEMENTE ACTUAR PARA ALCANZAR Y/O SUPERARLA EN EL FUTURO.



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS

**CONFERENCISTA
ING. RAÚL VALENCIA ZUÑIGA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS

ING. RAUL VALENCIA ZUÑIGA *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D.F. Tel. 521-4020 al 25, 521-7335 Fax 410-0573 y 512-5121, internet. fgarza @ tolsa.mineria.unam.mx
Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd. Adolfo López Mateos, No. 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F.
Tel y fax: 272-8981, 272-9011, y 515-3154, email: amicpac @ netmet.com

• JEFE TECNICO DE LATINOAMERICANA DE CONCRETOS, S.A. DE C.V.

Diseño y Selección de Mezclas

Diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la cantidad y calidad de materiales que se deben emplear para constituir un volumen unitario de concreto fresco, y posteriormente endurecido, que satisfaga los requisitos especificados para la estructura en que se desee emplear; teniendo las propiedades siguientes:

- 1 - En estado fresco: Una consistencia y trabajabilidad aceptable.
- 2 - En estado endurecido: La resistencia y durabilidad requerida.
- 3 - Ser Económico.

Los materiales constituyentes de los concretos son:

1. - Cemento
2. - Aditivos Minerales Finamente Divididos
- 3 - Agregado Fino
4. - Agregado Grueso
5. - Agua
- 6 - Aire
7. - Aditivos Químicos

Para establecer los conceptos fundamentales que se aplican al diseño de mezclas de concreto, conviene considerar al concreto fresco integrado por dos componentes principales. la pasta de cemento (que constituye del 25 al 40 % del volumen total de concreto) y los agregados minerales (que constituyen del 60 al 75%).

La Pasta.

La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la calidad y cantidad de los componentes reactivos (Composición química y finura del cemento, calidad del agua, relación a/c, composición de los aditivos empleados, etc) y del grado al cual se completa la reacción de hidratación. El concreto de vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y una temperatura favorable. Lo anterior quiere decir que la resistencia de una pasta no es tanto función de la relación a/c original como lo es del grado de hidratación que alcance el concreto (curado).

El procurar tener la menor cantidad posible de cemento en la pasta es una práctica aconsejable, no solo debido a que el cemento es la materia prima mas cara sino también porque produce concretos con menores cambios volumetricos (estabilidad dimensional) debido a que la pasta de concreto es menos estable volumétricamente que los agregados. El medio más accesible para reducir al mínimo el consumo de pasta, consiste en limitar la proporción de agregado fino a su valor óptimo

La cantidad de pasta requerida por unidad de volumen de concreto depende principalmente de los siguientes factores

- 1 - Relación agua-cemento de la pasta
2. - Consistencia del concreto fresco
3. - Graduación de agregado
4. - Forma y textura del agregado.

5. - Cantidad de aire atrapado y/o incluido.
6. - Aditivos químicos.
7. - Tamaño máximo del agregado.
8. - Porcentaje de Arena en el total de agregado.
9. - Cantidad, tipo y calidad de puzolanas.
10. - Características del cemento.

Relación Agua-Cemento.

La relación agua-cemento es sencillamente el peso del agua dividido entre el peso del cemento o si se hace uso de alguna puzolana, el peso del agua se divide entre el peso del cemento más puzolana

En una pasta de baja relación agua-cemento, el contenido unitario de la misma para obtener una mezcla de concreto con determinada consistencia, es mayor que el necesario para una pasta de relación agua-cemento alta; es decir, que a medida que es más viscosa (más seca) admite menor cantidad de agregados. Este aspecto conduce a incrementar aún más el consumo unitario de pasta en mezclas con baja relación agua-cemento.

Con objeto de compensar esta tendencia al aumento de pasta, es práctica frecuente reducir el contenido de arena a razón directa de la relación agua-cemento, es decir, se modifica la proporción entre la grava y la arena sin existir otra razón que el cambio de viscosidad de la pasta.

Normalmente, la reducción de arena se lleva al límite más bajo que permita a la mezcla conservar la manejabilidad requerida para las condiciones específicas de trabajo en que debe aplicarse.

Contenido de Agua.

El contenido de agua del concreto puede ser alterado por un gran número de factores: tamaño y forma del agregado, revenimiento, relación agua-cemento, contenido de aire, contenido de cemento, aditivos y condiciones ambientales. Un mayor contenido de aire y tamaño de agregado, una reducción en la relación agua-cemento y en el revenimiento, los agregados redondeados, y el uso de reductores de agua o de ceniza volante disminuyen la demanda de agua. Por otra parte, los aumentos de temperatura, en los contenidos de cemento, de la angularidad de los agregados, así como la disminución de la proporción de agregado grueso a fino elevan la demanda de agua.

Tipo de Cemento y Contenido de Cemento.

El tipo de cemento que debe usarse está estipulado usualmente en las especificaciones de proyecto. Para usos ordinarios se emplea el cemento portland normal (ASTM C 150, Tipo I) o cemento de combinación (ASTM C 595); para casos especiales se puede recurrir a cementos de calor moderado y resistencia a ataque de sulfatos moderado (Tipo II); alta resistencia temprana (Tipo III); de bajo calor de hidratación (Tipo IV); o de resistencia alta al ataque de sulfatos (Tipo V).

Cualquiera que sea el tipo de cemento que se vaya a usar, la dosificación consiste esencialmente en determinar la cantidad del mismo por volumen unitario de concreto, que

curado apropiadamente produzca un concreto endurecido de la resistencia y durabilidad especificadas. La cantidad de cemento necesario dependerá de los siguientes factores

1. - Tipo y calidad del cemento.
2. - Cantidad y calidad de puzolanas.
3. - Relación agua-cemento máxima (para asegurar resistencia o durabilidad).
4. - Consistencia de la mezcla
5. - Uso de aditivos.
6. - Tamaño máximo y graduación del agregado
7. - Otras características del agregado: forma, textura superficial, etc.

Los requisitos mínimos de cemento sirven para asegurar una durabilidad y acabados satisfactorios. Esto es importante a pesar de que los requisitos de resistencia se satisfagan con menores contenidos de cemento.

Aditivos

Un aditivo se define como un material diferente al agua, los agregados y cemento hidráulico que se utiliza como ingrediente en el concreto o en el mortero y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. El objetivo del uso de aditivos en el concreto, es el de mejorar algunas de las propiedades físicas del concreto en estado fresco y/o endurecido con la finalidad de satisfacer los requisitos especificados por el fabricante y/o consumidor

Aditivos Químicos:

La norma ASTM C 494 es la especificación estándar para los aditivos químicos para concreto. esta especificación considera cinco tipos de aditivos con propósitos diferentes, según se indica a continuación.

- Tipo A.- Aditivos reductores de agua
- Tipo B - Aditivos retardantes
- Tipo C.- Aditivos acelerantes
- Tipo D.- Aditivos reductores de agua y retardantes
- Tipo E.- Aditivos reductores de agua y acelerantes
- Tipo F - Aditivos reductores de agua de alto rango
- Tipo G - Aditivos reductores de agua de alto rango y retardante.

Aditivos Minerales Finamente Divididos

Los aditivos minerales finamente divididos son materiales pulverizados que se agregan al cemento antes del mezclado o durante éste, para mejorar o transformar algunas de las propiedades del concreto de cemento portland en estado fresco y/o endurecido.

Para entender las propiedades de un aditivo mineral finamente dividido es necesario son necesarias las siguientes definiciones:

Material Cementante: Son sustancias que por si solas tienen propiedades hidráulica cementantes.

Puzolana: Es un material inerte de origen silico o silicoaluminoso que por si solas no poseen ningún valor cementante, pero si se encuentra finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ordinaria para formar compuestos que si poseen propiedades cementantes.

Clases de Aditivos Minerales Finamente Divididos.

- Cal Hidráulica Calcinada (ASTM C-141)
- Escorias de Alto Horno Graduadas y Moldado (ASTM C-989)
 - Grado 80 con bajo índice de actividad
 - Grado 100 con índice de actividad moderado
 - Grado 120 con alto índice de actividad
- Ceniza Volante y Puzolanas Naturales (ASTM C-618)
 - Clase N Puzolanas naturales crudas o calcinadas:
 - Tierras diatomáceas, horstesos opalinos y pizarras tufas y cenizas volcánicas o pumicitas, algunas pizarras y arcillas calcinadas.
 - Clase F Ceniza volante con propiedades puzolánicas
 - Clase C Ceniza volante con propiedades puzolánicas y cementantes

Agregados.

Aún cuando generalmente la pasta es el componente activo del concreto, que determina la obtención de las propiedades requeridas en el producto endurecido, también es el más costoso, el de menor estabilidad dimensional y el que contribuye a elevar la temperatura del concreto durante el proceso de adquisición de las propiedades. Estas limitaciones hacen ver la conveniencia de reducir el contenido de pasta de cemento (de una calidad determinada) al valor mínimo compatible con la consistencia y manejabilidad requeridas en la mezcla de concreto.

Por lo anterior una vez definida la calidad de la pasta la granulometría y el tamaño máximo de agregado, es la combinación entre la arena y grava la que conduce al mínimo requerimiento de pasta para producir una mezcla de concreto de la manejabilidad requerida.

Granulometría de la Grava

La granulometría de los agregados tiene importante influencia sobre el proporcionamiento de mezclas de concreto, por su efecto en la trabajabilidad del concreto fresco, a demás de que determina también la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de pasta.

La composición granulométrica del agregado grueso es menos determinante del requerimiento de pasta y características del concreto fresco, como lo es la granulometría de la arena. Este hecho hace preferible, muchas veces, apegarse a la distribución original que ofrece la fuente de aprovisionamiento de grava en vez de intentar el empleo de una supuesta granulometría ideal.

A medida que aumenta el tamaño máximo del agregado grueso y la cantidad del mismo, disminuye la cantidad de pasta requerida por volumen unitario de concreto fresco de una consistencia determinada. No obstante, bajo el aspecto de resistencia a compresión, se ha observado que el tamaño máximo de agregado que produce mayor eficiencia de cemento (tamaño máximo óptimo) disminuye conforme aumenta la resistencia a compresión requerida en el concreto.

No obstante, de lo anterior, el tamaño máximo del agregado para un trabajo determinado se define considerando las dimensiones mínimas de la estructura y de la separación mínima del acero de refuerzo; de acuerdo con el valor más bajo que resulte de la evaluación de los siguientes criterios.

1. - $1/3$ del espesor de la losa.
2. - $1/5$ de la menor dimensión de la cimbra.
3. - $3/4$ partes de la distancia libre entre las varillas o cables refuerzo individuales, paquetes de varilla, ductos o tendones de presfuerzo.

También es bueno limitar el tamaño del agregado a no más de $3/4$ de la distancia libre entre el refuerzo y las cimbras.

Granulometría de la Arena

La granulometría del agregado fino (casi siempre expresada en términos de módulo de finura) dependerá del tipo de obra, riqueza de la mezcla y del tamaño del agregado grueso; siendo normalmente en mezclas pobres donde se espera una granulometría más fina con el objeto de cumplir con la trabajabilidad y en las mezclas más ricas se utiliza un módulo de finura mayor para tener mayor economía.

El efecto que producen los cambios de granulometría, de la arena, sobre el requerimiento de pasta de cemento en mezclas de concreto, se emplea en diversos métodos de diseño de mezclas para estimar el consumo necesario de pasta o la proporción óptima de arena. Lo anterior parte de que a medida que la arena es más fina (menor módulo de finura), el contenido de mortero que requiere una mezcla de concreto es menor (debido a que la superficie específica de la arena se incrementa con su finura) y porque a mayor superficie específica se requiere mayor pasta de cemento.

Forma y Textura de los Agregados.

La forma de la partícula y la textura superficial de un agregado influyen más en las propiedades del concreto fresco, que en las propiedades del concreto endurecido.

Los agregados de formas angulosas y superficies ásperas, usualmente requieren mayor cantidad de pasta de cemento en su combinación óptima que los de formas redondeadas y superficies lisas. Lo anterior quiere decir que para producir un concreto trabajable, las partículas elongadas, angulares, de textura rugosa necesitan más agua y cemento (pasta) que los compactos, redondeados y lisos.

La adherencia entre la pasta de cemento y un agregado generalmente aumenta a medida que las partículas cambian de lisas y redondas a rugosas y angulares. Este incremento de adherencia se debe considerar al seleccionar agregados para concreto en que sea importante la resistencia a flexión o donde sea necesario una alta resistencia a compresión.

El contenido de vacíos en los agregados se incrementa con la angularidad del mismo; por lo tanto, el contenido de vacíos del agregado compactado fino y/o grueso afecta directamente el contenido de pasta en la mezcla.

Selección de la mezcla de concreto.

Para poder determinar cuáles deben ser las características del concreto en estado fresco y en estado endurecido, es necesario tener contestación a las siguientes preguntas.

1. - En que será utilizado el concreto
2. - Que propiedades en el concreto solicitan.
3. - Que grado de exposición presenta ante sustancias agresivas.
4. - Cuales son las condiciones ambientales bajo las cuales se fabrica y coloca el concreto
5. - Cual es el tamaño y forma de los elementos.
6. - Cual será el procedimiento constructivo para colocar y acabar al concreto.
7. - Cuales son los requerimientos arquitectónicos

Es común encontrar en las especificaciones, solicitar resistencias a compresión (f'_c) y relaciones agua-cemento (a/c) del concreto. Y la característica en el concreto que deberá prevalecer es la que proporcione la relación a/c más baja.

Criterios de Durabilidad

Cuando para la dosificación de una mezcla de concreto se especifican requisitos de durabilidad, es generalmente esta propiedad la que se toma como base del diseño de mezcla de concreto.

a) Exposición a congelación y deshielo.

El concreto de peso normal y de peso ligero expuesto a las condiciones de congelación y deshielo o a productos químicos descongelantes, deben tener aire incluido, con un contenido de aire tal y como se indica a continuación.

Tamaño nominal máximo del agregado en pulgadas	Contenido de aire, en porcentaje	
	Exposición Severa	Exposición Moderada
3/8	7.5	6.0
1/2	7.0	5.5
3/4	6.0	5.0
1	6.0	4.5
1 1/2	5.5	4.5
2	5.0	4.0
3	4.5	3.5

La tolerancia en el contenido de aire al entregarse debe ser de $\pm 1.5\%$ y para resistencias especificadas, $f'c$, mayores de 350 kg/cm² el aire incluido indicado en la tabla anterior puede reducirse en 1%.

El concreto que va estar expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda, y que se pretenda tenga baja permeabilidad al agua, o que sea expuesto a sales descongelantes, agua salobre, agua de mar o salpicaduras de estas fuentes, deberá cumplir con los siguientes requisitos

Condiciones de exposición	Concreto de agregado de peso normal Relación máxima agua-cemento	Concreto de agregado ligero, $f'c$, mínima
Concreto que se pretenda tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0.50	260
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda	0.45	300
Para proteger de la corrosión concretos reforzados expuestos a sales descongelantes, agua salobre, agua de mar, o salpicaduras del mismo origen	0.40*	330

*Cuando el recubrimiento mínimo del concreto requerido por la sección 7.7 del ACI 318, se incrementa en 1.27 cm, la relación agua-cemento se puede aumentar a 0.45 para concreto normal, o reducir su $f'c$ a 300 kg/cm² para concreto ligero.

El consumo mínimo de cemento de mezclas que estarán expuestas a productos químicos descongelantes debe ser de 310 kg/m³ de cemento en conformidad con ASTM C 150 o C 595

b) Exposición a sulfatos.

El concreto que va a estar expuesto a soluciones o suelos que contengan sulfatos deberá cumplir con los requisitos de la siguiente tabla, o deberá estar hecho con un cemento que proporcione resistencia a los sulfatos y que se use en el concreto con una relación agua-cemento máxima o una resistencia a la compresión mínima también indicada en esta tabla.

Exposición a Sulfatos	Sulfato acuoso- soluble (SO ₄) en suelo porcentaje por peso	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Concreto de agregado de peso normal Relación máxima agua-cemento por peso*	Concreto de agregado ligero Resistencia a compresión f'c mínima kg/cm ² *
Insignificante	0.00-0.10	0-150	II. IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM) (MS), I(SM) (MS)	0.50	260
Moderada**	0.10-0.20	150-1500			
Severa	0.20-2.00	1500-10000	V	0.45	300
Muy Severa	Más de 2.00	Más de 10000	V Más puzolana +	0.45	300

* Una relación agua/cemento mas baja o una resistencia más alta que puede requerir para baja permeabilidad o para protección contra la corrosión de piezas de accesorios ahogados, o para congelamiento y deshielo

** Agua de mar

+ Puzolana que se determinó por medio de prueba o por experiencia para mejorar la resistencia a sulfatos cuando se use en concreto que contenga cemento tipo V.

El cloruro de calcio como aditivo no debe de emplearse en concretos que están expuestos a soluciones severas o muy severas que contengan sulfatos.

c) Corrosión del acero de refuerzo

Para protección contra la corrosión, las concentraciones máximas de ion cloruro acuosolubles, en concreto endurecido a edades que van de 28 a 42 días, provenientes de los ingredientes, incluyendo al agua, agregados, materiales cementantes y aditivos, no deben exceder los límites de la siguiente tabla.

Tipo de elemento	Contenido máximo de iones de cloruro (Cl ⁻) acuosolubles en el concreto, Porcentaje por peso de cemento
Concreto presforzado	0.06
Concreto reforzado en servicio expuesto a cloruros	0.15
Concreto reforzado en servicio que estará seco o protegido contra la humedad	1.00
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30

Proporcionamiento.

Los métodos de proporcionamiento han evolucionado desde el arbitrario método volumétrico de principios de siglo, hasta los métodos actuales de peso y volumen absoluto descritos en la práctica estándar para el proporcionamiento de mezclas del Comité 211 del Instituto Americano del Concreto. Los métodos de proporcionamiento por peso son muy simples y rápidos para estimar las proporciones de las mezclas, utilizando un peso supuesto o conocido del concreto por unidad de volumen. Un método más exacto, el de volumen absoluto involucra el uso de valores de densidad de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada ingrediente ocupará en la unidad de volumen de concreto.

Proporcionamiento a partir de datos de campo y/o en mezclas de Prueba.

Los proporcionamientos del concreto deben establecerse tomando como base la experiencia en el campo y/o en mezclas de prueba con los materiales que vayan a utilizarse, por lo que es necesario evaluar si contamos con los registros de datos aceptables (que representen materiales y condiciones similares a las especificadas, que consistan preferentemente en más de 30 pruebas, pero en ningún caso menor de 10 y que abarquen un período no menor a 45 días) que nos permitan determinar las proporciones para la mezcla que producirán una resistencia promedio igual o mayor a la resistencia a la compresión promedio requerida para la obra propuesta.

Cuando no se dispone de un registro aceptable de resultados de pruebas de campo, las proporciones de mezcla pueden establecerse con base a mezclas de prueba que cumplan con las siguientes restricciones.

- a) La combinación de los materiales debe ser la de la obra propuesta.
- b) Las mezclas de prueba con proporciones y consistencias requeridas para la obra propuesta deben prepararse empleando al menos tres relaciones diferentes agua-cemento o contenidos de cemento que produzcan una gama de resistencias que abarquen la resistencia promedio requerida. fcr.
- c) Las mezclas de prueba deben diseñarse para producir un revenimiento dentro de ± 2.0 cm del máximo permitido, y para el concreto con aire incluido, dentro del ± 0.5 % del máximo permisible de contenido de aire.
- d) Para cada relación agua cemento o contenido de cemento deben hacerse al menos tres cilindros de prueba para cada edad de prueba y curarse de acuerdo con la norma ASTM C 192. Los cilindros deben probarse a los 28 días o a la edad de prueba diseñada para obtener f'c.
- e) A partir de los resultados de las pruebas de cilindros debe graficarse una curva que muestre la correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a compresión a la edad determinada.
- f) La relación máxima agua-cemento o el contenido mínimo de cemento para el concreto que vaya a emplearse en la obra propuesta debe ser el que indica la curva para producir la resistencia promedio requerida, a no ser que se indique en la especificación una relación agua-cemento por efecto de durabilidad.

Determinación de la resistencia promedio requerida

El concreto debe dosificarse de manera que proporcione una resistencia promedio a la compresión descritos a continuación:

La resistencia a compresión promedio requerida (f_{cr}) usada como base para la selección de los proporcionamientos de concreto debe ser el resultado mayor de la evaluación de las siguientes dos expresiones.

$$f_{cr} = f'_c + 1.34s$$
$$f_{cr} = f'_c + 2.33s - 35$$

Donde s es la desviación estándar, y la f_{cr} se evalúa dependiendo de los siguientes tres casos:

1. - La desviación estándar, para evaluar la f_{cr} , se obtiene directamente de los registros de pruebas si:
 - a) Representan materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a las esperadas que serán empleadas en el nuevo proyecto.
 - b) Representan un concreto producido que cumple con la resistencia especificadas o resistencias especificadas, f'_c , dentro de 70 kg/cm² de la estipulada para la obra propuesta.
 - c) Están representados al menos por 30 pruebas consecutivas o dos grupos de pruebas consecutivas que totalicen al menos 30 pruebas.
2. - La desviación estándar, para evaluar la f_{cr} , se obtiene directamente de los registros de prueba, pero es afectada de un factor de modificación:
Los requisitos a y b del punto anterior se cumplen, pero el registro de pruebas esta comprendido entre 15 y 29 pruebas que representan un periodo no menor a 45 días calendario y por tanto, la desviación estándar obtenida se multiplica por el siguiente factor:

Número de Pruebas	Factor de modificación para la desviación estándar
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

3. - Cuando las instalaciones de producción de concreto no lleven registro de pruebas de resistencia en el campo y no se puede evaluar la desviación estándar, la f_{cr} se calcula de la siguiente tabla.

Resistencia a la compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia promedio a la compresión requerida, f_{cr} , kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
De 210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$f'_c + 98$

Todos estos niveles requeridos de sobrediseño están basados en cálculos estadísticos que aseguren que, con la desviación estándar conocida obtenida en la construcción previa, pueda esperarse que el concreto producido para la nueva construcción cumpla con los requisitos de especificación, cuando se realicen las pruebas de los cilindros de concreto de la nueva construcción. Estos niveles de sobrediseño están basados también en el supuesto de que la reglamentación exige que el promedio de todos los conjuntos de 3 pruebas de resistencia consecutivas iguale o exceda el valor requerido de la $f'c$ y ninguna prueba de resistencia individual caiga por debajo de $f'c - 35$.

La Norma Mexicana C-155 "Concreto Hidráulico - Especificaciones", especifica dos Grados de Calidad, de la siguiente manera.

a) Grado de Calidad A.

Este grado de calidad se recomienda utilizar en aquellas estructuras en las cuales se ha diseñado bajo el método de esfuerzos de trabajo. Y el concreto bajo éste grado de calidad debe cumplir con lo siguiente.

1). - Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia a compresión tengan un valor inferior a la resistencia especificada, se requiere un mínimo 30 pruebas.

2). - No más del 1% de los promedios de siete pruebas consecutivas de resistencia a compresión debe ser inferior a la resistencia especificada.

3). - Deben cumplirse todos los promedios consecutivos siguientes

Promedio Consecutivo de	Resistencia Mínima
1	$f'c - 50$
2	$f'c - 28$
3	$f'c - 17$
4	$f'c - 11$
5	$f'c - 7$
6	$f'c - 4$
7	$f'c$

b) Grado de Calidad B

Este grado de calidad se recomienda utilizar en aquellas estructuras en las cuales se ha diseñado bajo el método de resistencia última. Y el concreto bajo éste grado de calidad debe cumplir con lo siguiente.

1). - Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia a compresión tengan un valor inferior a la resistencia especificada, se requiere un mínimo 30 pruebas.

2). - No más del 1% de los promedios de tres pruebas consecutivas de resistencia a compresión debe ser inferior a la resistencia especificada.

3). - Deben cumplirse todos los promedios consecutivos siguientes.

Promedio de	Resistencia Mínima
1	$f_c - 35$
2	$f_c - 13$
3	f_c

Como podrá observarse, el número de fallas permitido para el grado de calidad "A" es del 20% y para el grado de calidad "B" es del 10 %, sin embargo alguna obra puede requerir un porcentaje de falla mucho menor

La forma de calcular la resistencia promedio requerida (f_{cr}) en estos casos es de acuerdo a la recomendación del ACI 214.

$$f_{cr} = f_c + s t$$

donde s es la desviación estándar y t es una constante que nos permite, de acuerdo a análisis estadísticos realizados, cumplir con los porcentajes de fallas que se indican en la siguiente tabla.

Porcentaje de Falla de Ensayes dentro de los límites $f_{cr} \pm st$	Posibilidad de Falla por Debajo del Limite	t
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.65
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

Método A.C.I. 211.1

A continuación se expone el criterio de dosificación y corrección de mezclas tentativas publicados por el ACI 211.1 Este es aplicable a concretos normales colados en el lugar, con o sin inclusores de aire, y se pretende que sirva de guía para el proporcionamiento de mezclas "tentativas" que deberán verificarse en el laboratorio o en el campo, ajustándolas si es necesario para producir las características deseadas en el concreto.

Hasta donde sea posible, la dosificación de las mezclas deberá basarse en datos de ensayos o en la experiencia con los materiales que se van a emplear. En aquellos casos donde tales antecedentes son limitados o no se disponen de ellos, pueden emplearse las recomendaciones que se incluyen en este método.

La siguiente información de los materiales que se van a emplear, será muy útil.

- a) La granulometría de los agregados. ASTM C-33
- b) Peso unitario de la grava.
- c) El peso específico y absorción de los agregados.
- d) Los contenidos de humedad de los agregados en el momento de aplicarse.
- e) Los requerimientos de agua de mezclado del concreto determinados por la experiencia con los agregados disponibles.
- f) Las relaciones entre la resistencia y la relación agua/cemento, para las combinaciones disponibles de cementos y agregados.

Procedimiento:

Independientemente de que las características del concreto sean especificadas por las normas o la selección de las proporciones se dejen al interesado, la mejor manera para establecer los pesos de los materiales para que produzcan un metro cubico es:

Paso 1. Elección del revenimiento.- Si el revenimiento no se especifica, la tabla 1 proporciona un valor adecuado para diferentes condiciones de trabajo. Estos revenimientos son para mezclas que se van a compactar por vibración. Debe usarse mezclas de consistencia muy rígida, que puedan colocarse eficientemente.

Tabla 1. - Revenimientos recomendables para diversos tipos de construcción

Construcción de concreto	Revenimiento, cm	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	7.5	2.5
Muros de subestructura, cajones y zapatas sin refuerzo	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10.0	2.5
Columnas de edificios	10.0	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	5.0	2.5

Paso 2. Elección del tamaño de la grava- Considerando que los agregados bien graduados de tamaño máximo tienen menos vacíos que los de tamaños menores. De aquí que los concretos con agregado de mayor tamaño requieran de menos mortero por unidad de volumen de concreto. Generalmente, el tamaño máximo del agregado debe ser el mayor que se encuentre disponible económicamente y el que resulte compatible con las dimensiones de la estructura, que en ningún caso deberá ser mayor que.

1. - 1/5 de la menor dimensión entre las paredes de la cimbra
2. - 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas de refuerzo (incluyendo recubrimiento)
3. - 1/3 de la profundidad de las losas

Para lograr los mejores resultados cuando se desea obtener un concreto de alta resistencia deben reducirse los tamaños máximos de agregados ya que estos producen mayores resistencia con una relación agua-cemento dada.

Paso 3. Estimación del agua de mezclado y del contenido de aire - La cantidad de agua por volumen requerida para producir un revenimiento deseado depende del tamaño máximo de la grava con o sin aire incluido, se presenta en la tabla 2. Además, proporciona el contenido de aire que posiblemente se presenta en la masa. Estos valores son buenos para una primera aproximación.

Cuando las mezclas tentativas se empleen para establecer las relaciones de resistencia o para verificar la capacidad de producción de resistencia que tiene la mezcla, se deben tomar los valores más desfavorables de la tabla 2; es decir, el contenido de aire y revenimiento máximos permitidos. Con esto se evitará una sobrestimación de las capacidades de las mezclas en el campo, donde es frecuente que prevalezcan estas condiciones.

Tabla 2. - Requisitos aproximados para el contenido de agua de mezclado y para el contenido de aire deseado para distintos revenimientos y tamaños máximo de agregado.

Agua, kg., por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*		9.5 mm	12.7 mm	19.0 mm	25.4 mm	38.1 mm			
50.8mm**	76.2mm**	152.4 mm **							
Revenimiento, cm	(3/8")	(1/2")	(3/4")	(1")	(1 1/2")	(2")	(3")	(6")	

Concreto sin aire incluido									

2.5 a 5		208	199	187	178	163	154	130	113
7.5 a 10		228	217	202	193	178	169	145	125
15 a 18		243	228	214	202	187	178	160	-----
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, por ciento		3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Concreto con aire incluido									

2.5 a 5		181	175	166	160	148	142	122	107
7.5 a 10		202	193	181	175	163	157	134	119
15 a 18		216	205	193	184	172	166	154	-----
Contenido de aire total promedio recomendado, por ciento, para el nivel de exposición +									
Baja		4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada		6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Severa		7.5	7.0	6.0	6.0	6.0	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezclado son para emplearse en el cálculo de los factores de cemento para las mezclas de prueba. Son valores máximos para agregados gruesos angulares de razonable buena forma con granulometría dentro de los límites marcados por las especificaciones adoptadas.

** Los valores de los revenimientos para concretos que contienen agregados mayores que 38.1 mm (1 1/2"), están basadas en pruebas de revenimiento: nechas después de haber removido por cribado húmedo las partículas mayores de 38.1 mm (1 1/2").

+ El contenido de aire en las especificaciones de obra deberá especificarse para ser entregado dentro de -1 a +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Para agregados subangulares las cantidades anteriores pueden reducirse en 12 kg, 21 kg para gravas con algunas partículas trituradas y 27 kg para gravas redondeadas

Paso 4. Elección de la relación agua cemento- La tabla 3(a) presenta valores aproximados y relativamente conservadores para concreto con cemento portland tipo I. Los valores de la resistencia son los promedios estimados para concretos que no contienen más aire que los mostrados en la tabla 2, para una relación de agua-cemento determinada la resistencia se reduce cuando el contenido de agua aumenta. Estas resistencias están basadas en la norma ASTM C-39, ensayado a los 28 días de edad, curados en forma estándar según la norma ASTM C-31.

La resistencia promedio que se escoja, por su puesto, deberá exceder la resistencia especificada con el margen suficiente para mantener el número de ensaye bajos dentro de los límites especificados.

Los concretos expuestos a condiciones severas, la relación agua-cemento, deberá mantenerse aún mas bajo que las requeridas. La tabla 3(b) proporciona los límites de estos valores. Los concretos para la penúltima columna deberán llevar incluso de aire. En los casos en donde se empleen los cementos tipos II o V, los valores de la última columna (ataque de los sulfatos) se pueden aumentar en 0.05.

Paso 5. Cálculo del contenido de cemento.- La cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto se obtienen de los pasos 3 y 4 mencionados anteriormente. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 3) dividiendo el valor obtenido en el paso 4, no obstante si se incluyen en las especificaciones un contenido de cemento mínimo, además de los requisitos anteriores se deberá emplear el mayor de los criterios.

Tabla 3(a) Correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a compresión del concreto

Resistencia a compresión a los 28 días, MPa*	Relación agua-cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	-----
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

*Los valores indican la resistencia promedio estimadas para concreto con un contenido de aire no mayor al 2 % en concretos sin aire incluido y de 6% de contenido de aire total para concretos con aire incluido. Para una relación agua-cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme se incrementa el contenido de aire.

La resistencia esta basada en cilindros de 15x30 cm, curados en húmedo por 28 días 23 + 1.7 °C. de acuerdo con la norma ASTM C-31 "Fabricación y curado de muestra de concreto para pruebas de flexión y a la compresión en el campo". La resistencia de cubos será aproximadamente de 20 a 30 mm; para agregados de una procedencia determinada la resistencia producida para una relación agua-cemento dada aumentará conforme el tamaño máximo del agregado disminuya.

Tabla 3(b) Relación agua-cemento máximas permisibles para concreto expuesto a condiciones severas*

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda y expuesta a congelación y deshielo*	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos
Secciones delgadas (rieles, bordillos, durmientes, obras ornamentales) y secciones de menos de 5 cm de recubrimiento sobre el acero.	0.45	0.40**
Todas las demás estructuras	0.50	0.45**

Basadas en el reporte del comité ACI 201.2R

*El concreto también debe de ser del tipo de aire incluido.

**Si se utiliza cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o tipo V de la norma ASTM -150) la relación agua-cemento permisible podrá aumentarse en 0.05

Paso 6 Estimación del contenido de agregado grueso - Los agregados con el tamaño y granulometría esencialmente iguales producirán una manejabilidad satisfactoria, cuando un volumen de agregados determinado, según ASTM C-29, se aplica a un volumen unitario de concreto. La tabla 4 proporciona valores apropiados de estos volúmenes y en la cual también puede observarse, que para igual trabajabilidad, el volumen de agregado grueso depende solamente del tamaño máximo de agregado grueso y del módulo de finura del agregado fino. Estos volúmenes (en fracción) se multiplican por el peso unitario del agregado seco varillado, obteniendo según la norma anterior, para convertirlo a peso por metro cúbico de concreto. Además de estos valores, se han escogido de relaciones empíricas, para proporcionar una manejabilidad adecuada para la construcción ordinaria de concreto reforzado. Para pavimentos, donde se requieren concretos de menor manejabilidad estos valores se deben incrementar en un 10%, en cambio, para los concretos bombeados se reduce un 10% aproximadamente.

Tabla 4 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo de agregado, mm (pulg)	Volumen de agregado grueso varillado en seco* por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
76.2 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
152.4(6")	0.87	0.85	0.83	0.81

*Los volúmenes están basados en agregados secos y compactados con varilla como se describe en la norma ASTM C-29 "Peso unitario de los agregados". Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un concreto con un agregado de trabajabilidad apropiada para la construcción reforzada usual. Para obtener un concreto con menos trabajabilidad como el que se utiliza en la construcción de pavimentos de concreto, estos valores se pueden aumentar en un 10 %. Para un concreto con más trabajabilidad como el que algunas veces se requiere cuando la colocación se efectúa por bombeo, estos valores se pueden reducir hasta en un 10%.

**El módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (acumulativas) retenidas en tamices de malla con aberturas de 0.0149, 0.297, 0.595, 1.19, 2.38, y 4.76 mm. ASTM C 136.

Paso 7 Estimación del contenido de agregado fino.- Hasta el paso anterior todos los ingredientes se han estimado, salvo el contenido de arena. Existen dos métodos para estimarlos, por volumen absoluto y por peso. Ambos trabajan por diferencias.

a) Por volumen absoluto.- Este método es muy conocido, se trata de transformar los pesos obtenidos por metro cúbico, al volumen que ocupan, dividiéndolos por los pesos específicos correspondientes. se suman todos los volúmenes incluyendo el volumen de aire y se restan del metro cúbico, la diferencia representa el volumen que debe ocupar la arena, que multiplicada por su peso específico se determina en peso por metro cúbico de concreto.

b) Por peso.- Se pueden estimar previamente por experiencia o suponer el peso unitario del concreto, el peso requerido de arena será la diferencia de éste peso y la suma de los pesos de los otros ingredientes. Frecuentemente, por la experiencia se pueden estimar con bastante aproximación el peso unitario del concreto. Si no se dispone de esta información se pueden aplicar los valores dados en la tabla 5 para hacer una primera estimación. Aunque estos valores son una aproximación gruesa, las

cantidades de los ingredientes pueden ajustarse con facilidad, en base a revolturas tentativas. Si se desea calcular el peso unitario del concreto, con exactitud teórica, se pueden emplear las siguientes fórmula.

$$U = 10G_a (100 - A) + C_m (1 - G_a / G_c) - W_m (G_a - 1) \quad \text{----- Ec. 1}$$

donde :

U = Peso unitario de concreto fresco.

G_a = Peso específico promedio pesado de la combinación de los agregados (sss).

G_c = Peso específico del cemento (generalmente 3.15).

A = Contenido de aire.

W_m = Agua de mezclado requerida, kg/m³.

C_m = Contenido de cemento requerido, kg/m³.

Los valores de la tabla 5 se calcularon, con la ecuación anterior para concretos con contenido medio de cemento (330 kg/m³), para revenimiento medio (8 a 10 cm) y con un peso específico promedio pesado de los agregados de 2.7, el requisito de agua de mezclado se obtuvo de la tabla 2, si se desea un mayor refinamiento en la estimación de la tabla 5 y si se cuenta con la información necesaria, procédase como sigue.

-Por cada 5 kg de diferencia en el agua de mezclado obtenida en la tabla 2 para los requisitos del problema, respecto al revenimiento de 8 a 10 cm, corrija en sentido opuesto 8 kg/m³ del valor estimado en la tabla 5

-Por cada 20 kg de cemento de diferencia, respecto a 330 kg/m³, corrija en 3 kg/m³ en el mismo sentido los valores de la tabla 5.

-Por cada 0.1 de diferencia en el peso específico, respecto a 2.7, corrija con 70 kg/m³ en el mismo sentido los valores de la tabla 5.

Tabla 5- Primera estimación del peso del concreto fresco

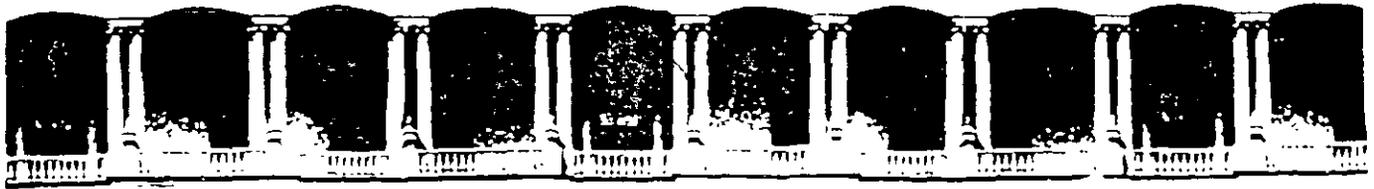
Tamaño máximo de agregado. mm (pulg)	Primera estimación del peso del concreto. kg/m ³ *	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5 (3/8")	2280	2200
12.7 (1/2")	2310	2230
19.0 (3/4")	2345	2275
25.4 (1")	2380	2290
38.1 (1 1/2")	2410	2350
50.8 (2")	2445	2345
76.2 (3")	2490	2405
152.4 (6")	2530	2435

*Valores calculados con la Ec. 1 para concretos medianamente ricos (330 kg de cemento por m³) y revenimiento medio, con un agregado cuyo peso específico es de 2.7. Los

requerimientos de agua están basados en los valores de revenimiento de 8 a 10 cm de la tabla 2. Si se desea se puede precisar más la estimación del peso, como se indico en los pasos anteriores, siempre que se posea la información necesaria.

Paso 8. Ajustes por humedad y absorción de los agregados. Las cantidades de los agregados que se deberán pesar para el concreto, deben estar corregidos por humedad y absorción. Generalmente, los agregados se encuentran húmedos y sus pesos seco se deberán incrementar por el tanto por ciento de agua que contienen, tanto la absorbida como la superficial. El agua de mezclado se deberá reducir, por lo tanto, en una cantidad igual a la de la humedad menos la absorción.

Paso 9. Realización de los ajustes al diseño mediante mezclas de prueba. La mezcla diseñada debe verificarse por medio de mezclas de prueba de acuerdo con la norma ASTM C 192. Debe de emplearse el agua suficiente para obtener el revenimiento proyecto. Se debe verificar el peso volumétrico del concreto fresco y su rendimiento (ASTM C 138), así como su contenido de aire (ASTM C 138, C 173 o C 231). Debe también observarse cuidadosamente la trabajabilidad presentada, posibilidad de segregación y propiedades de acabado. Basándose en lo anterior, se deben hacer los ajustes apropiados al proporcionamiento ensayado.



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

DISEÑO DE MEZCLAS

**CONFERENCISTA
APASCO
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

DISEÑO DE MEZCLAS

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

CONTENIDO:

1. Objetivo del diseño de mezclas
2. Características del concreto
3. Influencia de los materiales
4. Propiedades del concreto fresco
5. Propiedades del concreto endurecido
6. Ensaye de mezclas
7. Ajustes de la mezcla
8. Aceptación de la mezcla
9. Resumen

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

1. OBJETIVO DEL DISEÑO DE LAS MEZCLAS

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

Seleccionar los ingredientes adecuados y calcular sus cantidades relativas para producir un concreto de determinadas propiedades y que además pueda elaborarse tan económicamente como sea posible

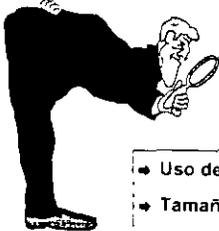


CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

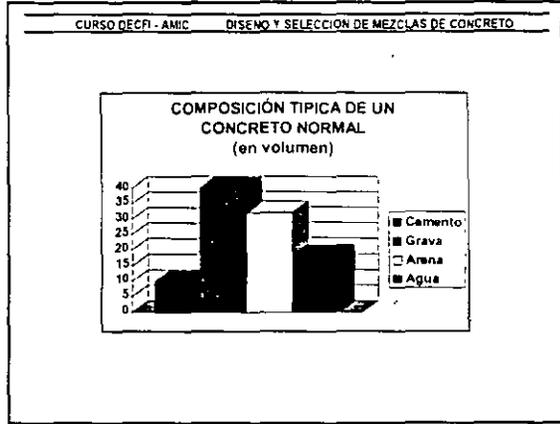
ELECCION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA



- Uso del concreto (servicio)
- Tamaño y forma de los elementos
- Condiciones de exposición

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCION DE MEZCLAS DE CONCRETO

3. INFLUENCIA DE LOS MATERIALES



CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCION DE MEZCLAS DE CONCRETO

CEMENTO:

- ➔ Tipo de cemento (seleccionado de acuerdo a estudios Preliminares)
- ➔ Contenido mínimo de cemento
- ➔ Relacion agua/cemento

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCION DE MEZCLAS DE CONCRETO

RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)

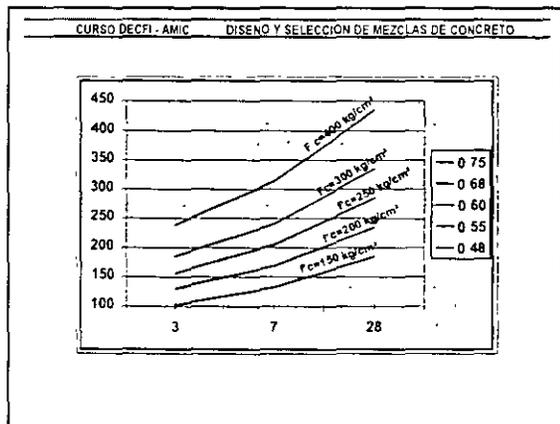
Esta relación es sencillamente el peso del agua (excluyendo la absorbida por los agregados) dividido entre el peso del cemento

La resistencia a compresión se relaciona inversamente con la relacion agua/cemento

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCION DE MEZCLAS DE CONCRETO

CORRESPONDENCIA

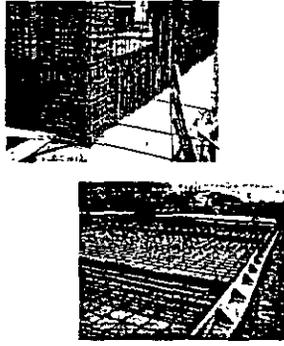
Resistencia (f _c),	relacion a/c, en peso
150	0.75
200	0.68
250	0.60
300	0.55
350	0.50
400	0.48



CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

AGREGADOS:

- Características físicas y químicas
- Forma
- Textura
- Tamaño máximo
- Etc



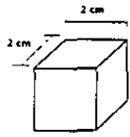
CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO
(Reglamento de Construcción ACI 318)

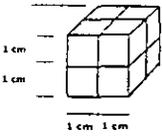
El tamaño máximo del agregado no debe exceder

- La quinta parte del espacio más angosto entre las formas laterales
- La tercera parte del espesor de losas
- Las tres cuartas partes del espacio libre entre las varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varilla, o tendones y ductos de presfuerzo
- Las tres cuartas partes del espacio entre el acero de refuerzo y la cara interior de la cimbra (Concreto Arquitectónico)

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

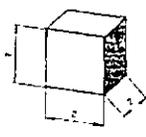


área = $2 \times 2 \times 6 = 24 \text{ cm}^2$

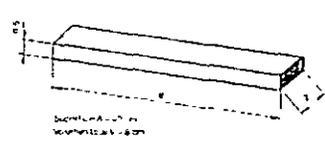


área = $6 \times 1 \times 1 = 6 \text{ cm}^2$

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO



área = $2 \times 2 \times 6 = 24 \text{ cm}^2$



área = $6 \times 1 \times 2 = 12 \text{ cm}^2$

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

RELACION GRAVA-ARENA

• Determina la cohesión y trabajabilidad de la mezcla y de alguna manera la demanda de agua en el concreto.



CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

RELACIONES TÍPICAS GRAVA-ARENA:

TIPO DE AGREGADOS	REL. GRAVA-ARENA
De río	60% a 40%
Mixtos (semitriturados)	55% a 45%
Manufacturados (triturados)	50% a 50%

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

AGUA:
El agua es el constituyente del concreto más nocivo en cantidad para el concreto. La mayoría de problemas de agrietamiento se deben a ella.



CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

El contenido de agua puede ser alterado por:

- ✓ Tamaño y forma del agregado
- ✓ Revenimiento
- ✓ Relación agua/cemento
- ✓ Relación grava/arena
- ✓ Contenido de cemento
- ✓ Condiciones ambientales
- ✓ Uso de aditivos y adiciones

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

Cuando se emplean agregados de buena forma (cúbica o redondeada), calidad física, normalmente los consumos de agua para concreto de revenimiento normal (8 a 12 cm), deberán ser del siguiente orden

- Agregados naturales: 160 a 180 L/m³
- Agregados mixtos 180 a 200 L/m³
- Agregados triturados: 200 a 220 L/m³



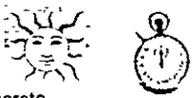
CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

ADITIVOS:

- Reductor de agua,
- Acelerante,
- Retardante,
- Includor de aire



- ✓ Tiempo de entrega
- ✓ Distancia a la obra
- ✓ Tiempo de colocación
- ✓ Temperatura ambiental
- ✓ Requisitos especiales del concreto (tiempo de puesta en servicio, durabilidad, etc.)



CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

ADICIONES MINERALES:

- Puzolana
- Fly Ash
- Microsilica
- Escoria



- ✓ Material de relleno para mejorar la trabajabilidad
- ✓ Como adición cementante
- ✓ Para incrementar la durabilidad del concreto

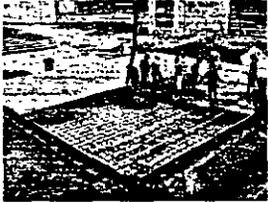
CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO FRESCO

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO FRESCO:

- ▶ Trabajabilidad
- ▶ Cohesion
- ▶ Plasticidad



CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO




CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

REVENIMIENTOS RECOMENDADOS :

ESTRUCTURA	Rvto., cm
zapatas y muros de cimentación reforzados	8 a 12
Vigas y muros reforzados	10 a 14
Columnas de edificios	12 a 18
Pavimentos y losas	4 a 8
Concreto masivo	2 a 5



En el país, típicamente se maneja el concreto de 10, 14 y 18 cm (comercialmente)

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

5. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO:

- Resistente
- Durable



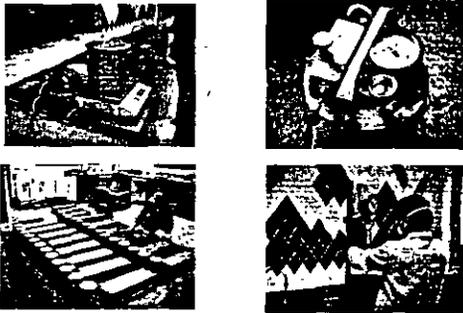
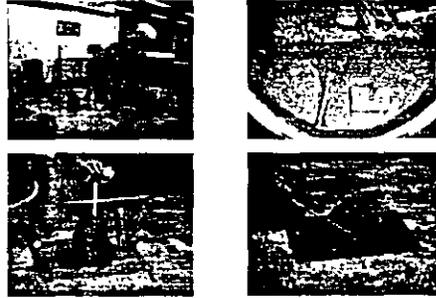
!!! Y bello también!!!

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

6. ENSAYE DE MEZCLAS

OBJETIVO:

Obtener una mezcla que, en estado plástico posea las características adecuadas de trabajabilidad y consistencia para colocar el concreto fácilmente en las cimbras y alrededor del acero de refuerzo bajo las condiciones de colocación a ser empleadas, sin segregación o excesivo sangrado, y que en estado endurecido alcance la resistencia de proyecto y el tiempo de vida esperado (durabilidad)

PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO.**PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO:****7. ACEPTACION DE LA MEZCLAS**

Una mezcla de concreto se considera apta para ser empleada en el campo cuando a nivel laboratorio se determina que:

- ✓ La mezcla posee buenas características de trabajabilidad, el revenimiento especificado y su tiempo de permanencia en estado plástico es adecuado.
- ✓ El concreto endurecido cumple con los requisitos estipulados de resistencia del proyecto.

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

8. AJUSTES DE LA MEZCLA

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

- ◆ Cuando en el ensaye de los especímenes se determine un incumplimiento con el grado de calidad especificado o con los parámetros indicados en particular con el proyecto
- ◆ Cuando se determine que la mezcla no posee las características de trabajabilidad requeridas para la colocación satisfactoria del concreto
- ◆ Cuando se detecte alto sangrado o tendencia al asentamiento o segregación de la mezcla
- ◆ Cuando se cambie de tipo o marca de cemento, de banco de agregados o de tipo y/o marca de aditivo

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

9. RESUMEN

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

1

- ◆ El diseño de la mezcla deberá estar dirigido a la obtención de resistencia compatible con el diseño estructural, así como alcanzar características de durabilidad conforme a las expectativas de vida y condiciones de servicio del concreto

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

2

- ◆ En las especificaciones de obra deben establecerse límites para los factores que se emplean en el diseño de mezclas, tales como
 - Resistencia
 - Relación agua/cemento
 - Contenido mínimo de cemento
 - Revenimiento
 - Tamaño máximo de agregado
 - Separación de la grava en 2 tamaños (por lo menos)
 - Empleo de aditivos
 - Tiempo de entrega
 - etc.

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

3

- ◆ La calidad de los agregados juega un papel importantísimo en la calidad del concreto

CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

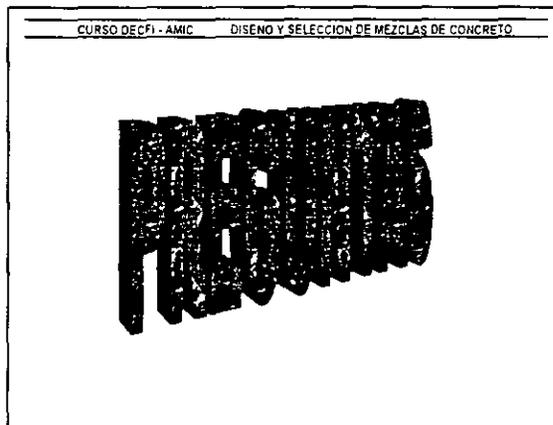
4

- Los aditivos son materiales indispensables para mejorar las características y propiedades del concreto, pero NO SUSTITUYEN A UNA MALA PRACTICA CONSTRUCTIVA NI A UN MAL DISEÑO DE MEZCLA.

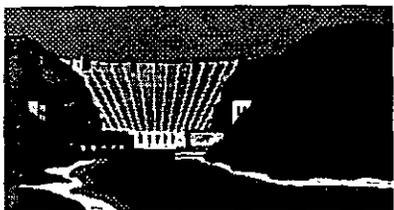
CURSO DECFI - AMIC DISEÑO Y SELECCIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

5

- Los diseños de mezclas deben realizarse con suficiente anticipación al inicio de los trabajos de construcción para contar con los diseños de mezcla óptimos.



AGUA PARA CONCRETO





AGUA

- ☉ CALIDAD DEL AGUA.
- ☉ REQUERIMIENTOS EN EL CONCRETO.



- Calidad del agua

La calidad del agua de mezclado no establece ninguna relación condicionante con el aspecto bacteriológico (Como en el caso de las aguas potables)

Basicamente se refiere a sus características físico-químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.



El agua de mezclado que contenga impurezas excesivas afecta de acuerdo a las características de las mismas:

- El tiempo de fraguado
- Resistencia de concreto
- Contracción por secado
- Corrosión del acero de refuerzo
- Durabilidad
- Eflorescencia
- Manchado





Algunas impurezas, sus niveles tolerables efecto sobre el concreto

	ppm	
Algas	2,000	Inclusión de aire.
Carbonatos	1 000	Reducción del tiempo de fraguado
Sulfato de Na	10,000	Alta resist temprana, baja a edades tardias
Sulfato de Mg	40,000	Alta resist temprana, baja a edades tardias
Cloruros	20,000	Red. tiempo fraguado, alta resist. temprana
Fosfatos, Arsenatos, Boratos	500	Retardan el fraguado
Azucar	500	Retarda el fraguado





NOM-C-122 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA PARA CONCRETO

	Límites en ppm	
	Cemento rico en calcio	Cemento sulfato-resistente
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas)	2 000	2 000
en aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50 000	35 000
Cloruros como Cl concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puentes otros concretos reforzados en ambiente humedo o en contacto con metales como Al, Fe galvanizado y otros similares	400	600
	700	1 000



NOM-C-122 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA PARA CONCRETO

	Límites en ppm	
	Cemento rico en calcio	Cemento sulfato resistente
Sulfato como SO ₄ ²⁻	3 000	3 500
Magnesio como MG ⁺⁺	100	150
Carbonatos como CO ₃ ²⁻	600	600
Dióxido de carbono disuelto como CO ₂	5	3
Alcalis totales como Na ⁺	300	450
Total de impurezas en solución	3 500	4 000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150	150
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5



El agua de lavado de las ollas mezcladoras se puede utilizar para mezclar concreto siempre y cuando esta cumpla con los límites físicos de la Tabla 1.

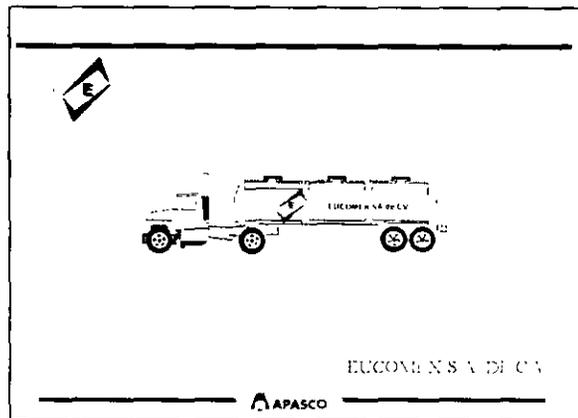
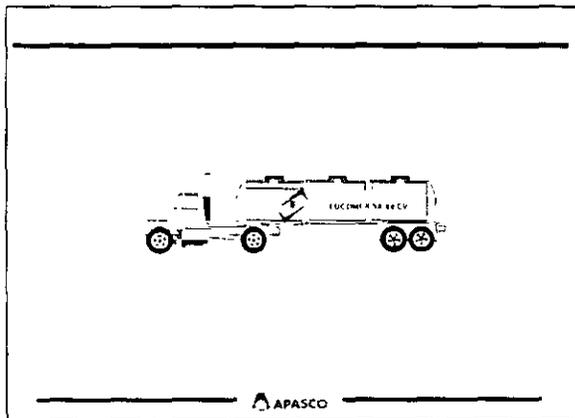
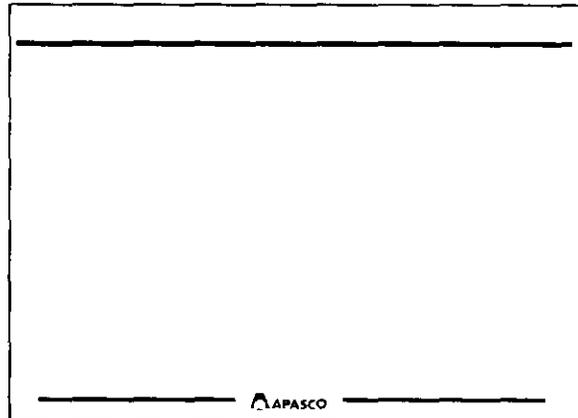
Se pueden especificar los límites químicos de la Tabla 2 cuando esto sea adecuado para la construcción



Tabla 1 Criterio de aceptación para suministro de agua dudosa

	Límites	Métodos
Resistencia a la compresión, % mín testigo a 7 días	90	C 109
Tiempo de fraguado, desviación del testigo, hh mm	de 1:00 antes a 1:30 después	C 191





 ADITIVOS PARA CONCRETO



EUCOMEX S.A. DE C.V.



ADITIVOS

- DEFINICION
- INTRODUCCION
- TIPOS Y APLICACIONES DE ADITIVOS QUIMICOS
- ADITIVOS MINERALES
- OTROS PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCION



A. DEFINICION

La definicion oficial de ASTM C 125 es *"...un material diferente al agua, agregados, cemento hidráulico y fibras de refuerzo que se utiliza como un ingrediente del concreto o mortero y que se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado."*



B. INTRODUCCION

RAZONES PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS

Necesidad de modificar las características del mortero o del concreto de tal forma de que estos se adapten a las condiciones de la obra, ambientales y los requerimientos del constructor



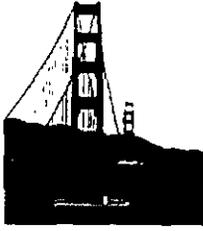
Los aditivos modifican las características del mortero y el concreto:

En estado fresco

- Trabajabilidad
- Tiempo de trabajabilidad
- Contenido de pasta
- Tiempo de fraguado inicial
- Segregacion

Durante el endurecimiento:

- Tiempo de fraguado
- Calor de hidratación
- Estabilidad volumetrica
- Sangrado





Después de endurecido:

- Velocidad del desarrollo de resistencia
- Resistencia mecanica
- Densidad
- Reducción de la permeabilidad
- Mejora la durabilidad





C. TIPOS Y APLICACIONES

- 1 Aditivos quimicos (ASTM C 494) son compuestos solubles en agua para controlar tiempo de fraguado, desarrollo de resistencia y/o reducci3n de agua.
2. Agentes inclusores de aire (ASTM C 260) para mejorar resistencia al congelamiento, trabajabilidad y economia
- 3 Aditivos quimicos (ASTM C 1017) son compuestos solubles en agua para uso en la produccion de concreto superfluido.

APASCO

- 4 Aditivos minerales (ASTM C 618, C 989 y C 1240) son s3lidos finamente divididos para mejorar la trabajabilidad, durabilidad y resistencia del concreto.
5. Aditivos varios incluyen todos los materiales que no caen bajo las categorias mencionadas y que se han desarrollado para aplicaciones especiales

APASCO

ASTM C 494 (NOM C 255)

Tipo	Funcion
A (I)	Reductor de agua
B (II)	Retardante
C (III)	Acelerante
D (IV)	Reductor de agua y retardante
E (V)	Reductor de agua y acelerante
F (VI)	Reductor de agua de alto rango
G (VII)	Reductor de agua de alto rango y retardante

APASCO

REDUCTORES / PLASTIFICANTES.

Los mayores efectos sobre el concreto son

Plastificacion Mejora la trabajabilidad del concreto para una determinada relacion agua / cemento	Permite una modificacion de la cantidad de agua para una trabajabilidad dada
---	--

APASCO

REDUCTORES / PLASTIFICANTES

Los plastificantes son adsorbidos por las particulas de cemento y originan en las superficies de estas una carga electrica del mismo signo. Una vez que las particulas se encuentran cargadas electrostaticamente, se repelen unas a otras, produciendose asi la fluidificacion

APASCO

Mecanismo de accion por dispersion

APASCO

SE EMPLEAN LOS ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA PARA:

- > Incrementar la resistencia del concreto sin aumentar el contenido del cemento
- > Reducir el contenido de cemento conservando la resistencia
- > Aumentar la trabajabilidad de la misma
- > Reducir el calor de la masa de concreto
- > Reducir la contracción
- > Reducir la permeabilidad

APASCO

ADITIVO RETARDANTE

SU PRINCIPAL EFECTO ES:

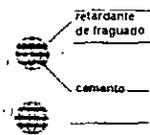
- ♦ LENTO DESARROLLO DEL FRAGUADO



APASCO

RETARDANTE DE FRAGUADO

Los retardadores de fraguado forman una película alrededor del cemento, ello reduce el área superficial disponible para la hidratación y en consecuencia se retrasa el fraguado



APASCO

SE EMPLEAN LOS ADITIVOS RETARDANTES DE FRAGUADO PARA:

- ☞ Traslado de concreto en distancias largas
- ☞ Colados en clima calido
- ☞ Evitar juntas frias
- ☞ Colados de bajo rendimiento de colocación o con equipo pequeño

APASCO

ACELERANTES

Son aquellos aditivos que aumentan la velocidad de hidratación del cemento hidráulico

La mayoría de estos productos tienen como agente activo a una sal inorgánica, siendo el CaCl_2 la más popular.

APASCO

ADITIVO ACELERANTE

LOS PRINCIPALES EFECTOS SON:

- ♦ MAS RAPIDO FRAGUADO.
- ♦ MAYOR RESISTENCIA INICIAL



APASCO

SE EMPLEAN LOS ADITIVOS ACELERANTES DE FRAGUADO PARA:

- ↪ Poner en servicio la estructura a edad mas temprana.
- ↪ Descimbrar mas rapido.
- ↪ Realizar colados a bajas temperaturas (mayores de 5°C).

APASCO

Se emplean los aditivos reductores de agua de alto rango/superfluidizantes/retardantes de fraguado para:

- + Obtener muy altas resistencias a cualquier edad
- + Incrementar drasticamente la trabajabilidad
- + Reducir / eliminar la compactacion del concreto
- + Reducir sustancialmente el contenido de cemento de las mezclas
- + Colocar concreto bajo el agua (Sistema Tremie)
- + Acortar tiempos de cimbrado en la fabricacion de prefabricados

APASCO

- ↪ Proteger el equipo de colocacion (menor desgaste)
- ↪ Colocar concreto en secciones muy delgadas densamente armadas
- ↪ Incrementar la distancia de bombeo
- ↪ Obtener mayor durabilidad



APASCO

ADITIVOS PARA CONCRETO (ASTM C 1017 - 92)

FUNCION	TIPO
Superfluidizante	I
Superfluidizante + Efecto retardante	II

Concreto superfluidido es aquel cuyo revenimiento es mayor o igual a 19 cm.

Un superfluidizante debe incrementar no menos de 9 cm el revenimiento del concreto base (sin aditivo)

APASCO

Se emplean los aditivos inclusores de aire para:

- ↪ Mejorar la resistencia a ciclos congelación / deshielo
- ↪ Incrementar la manejabilidad
- ↪ Reducir el sangrado
- ↪ Mejorar la cohesión de las mezclas
- ↪ Incrementar la durabilidad
- ↪ Reducir la permeabilidad
- ↪ Reducir la segregación

APASCO

ADITIVOS PARA CONCRETO (ASTM C 260 - 92)

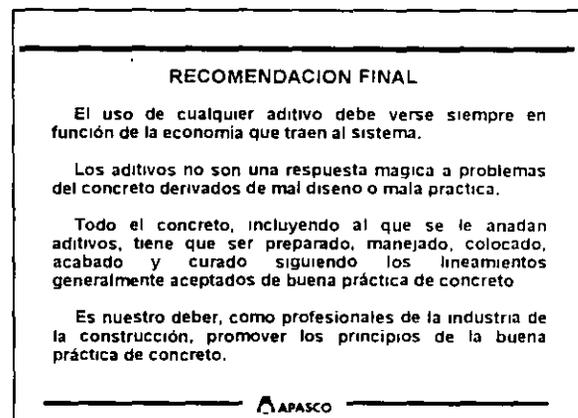
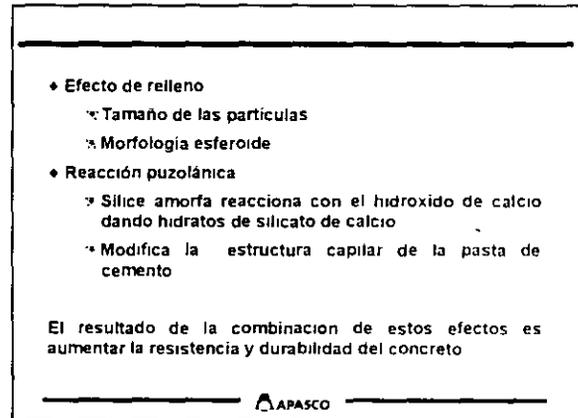
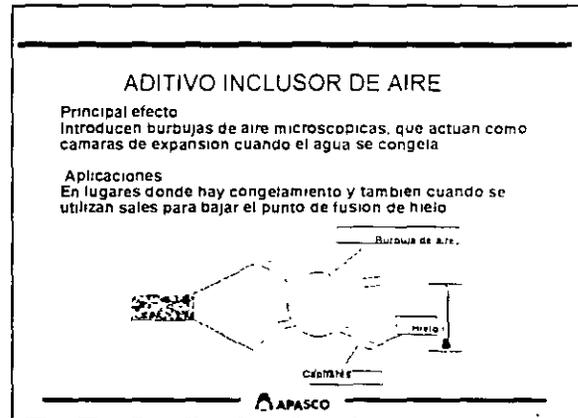
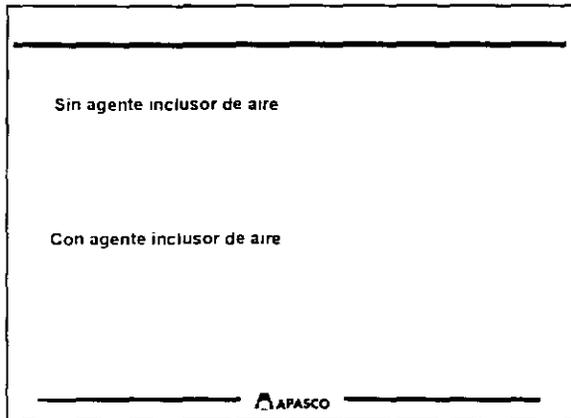
INCORPORACION DE AIRE

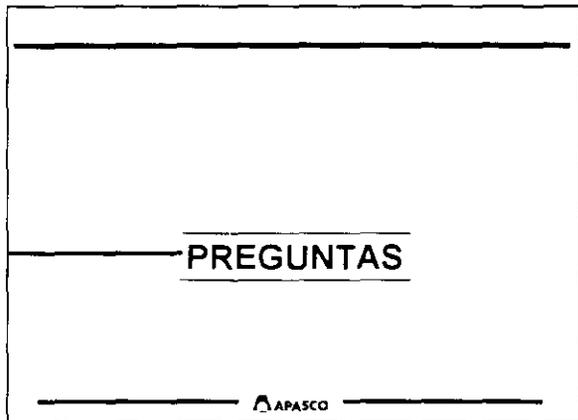
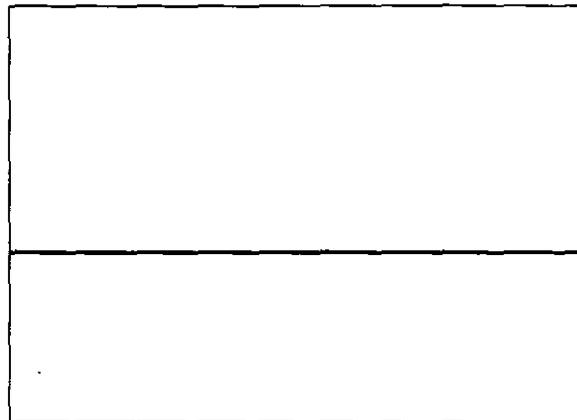
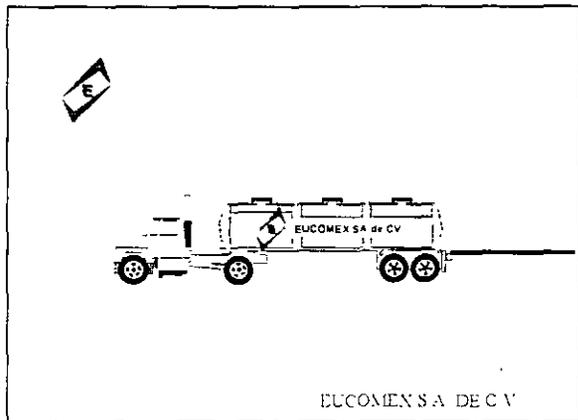
La incorporación de aire no debe ser mayor de 8%

Para obtener trabajabilidad, el contenido de aire se considera adecuada entre 3 y 5%

Para obtener durabilidad, el contenido de aire debe ser del 5 al 7%

APASCO







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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO

**CONFERENCISTA
ING. RAUL VALENCIA ZUÑIGA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO

ING. RAUL VALENCIA ZUÑIGA *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D.F. Tel. 521-4020 al 25, 521-7335 Fax 410-0573 y 512-5121, internet: fgarza @ tolsa.mineria.unam.mx
Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd. Adolfo López Mateos, No. 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F.
Tel y fax: 272-8981, 272-9011, y 515-3154. email: amicpac @ netmet.com

• JEFE TECNICO DE LATINOAMERICANA DE CONCRETOS, S.A. DE C.V.

Dosificación y Mezclado

La meta de todos los procedimientos de dosificación y mezclado es producir concreto uniforme y homogéneo que contenga las proporciones requeridas de los materiales. Para lograr esto, es necesario que:

1. - Los materiales se mantienen homogéneos y no se segreguen antes o durante la dosificación y mezclado.
2. - El equipo disponible mida adecuadamente las cantidades requeridas de material y que éstas puedan cambiarse fácilmente, cuando así se requiera.
3. - Que se mantengan las proporciones de los materiales entre carga y carga.
4. - Que todos los materiales se introduzcan a la mezcladora en forma apropiada
5. - Que todos los ingredientes queden perfectamente entremezclados y todas las partículas de agregado completamente cubiertas con pasta de cemento, durante la operación de mezclado
6. - El concreto deberá ser uniforme y homogéneo dentro de cada carga y de carga en carga

Dosificación.

La dosificación puede hacerse en forma manual, semiautomática o totalmente automática. Como el nombre lo indica, en el proceso manual todas las operaciones de medición y dosificación se hacen a mano; las plantas manuales son aceptables para pequeñas obras con requisitos de producción bajas. Los intentos de aumentar la capacidad de las plantas manuales acelerando las cargas pueden conducir a cargas inexactas.

En el sistema semiautomático, las compuertas que controlan la salida de los materiales a los dispositivos de medición son controladas mediante botones o interruptores de presión y las compuertas se cierran automáticamente cuando el peso estipulado del material se cumple.

Las plantas totalmente automáticas, todos sus materiales se cargan y descargan automáticamente con solo la activación de un interruptor de arranque; este sistema interrumpe el ciclo de medición cuando los dispositivos destinados para este fin no vuelven a una posición que este dentro de ± 0.3 por ciento del cero o excedan las tolerancias de medición

Los factores que afectan la selección del sistema apropiado de dosificación son:

1. - Tamaño de la obra
2. - Volumen/hora requerido.
3. - Normas de rendimiento que se requieran en la dosificación.

Tolerancias en la dosificación

Las tolerancias en la medición de los ingredientes, en el caso del concreto premezclado, aparecen en la norma ASTM C 94, y se expresan en la siguiente tabla.

Ingredientes el 30%	Pesos de carga mayores que el 30% de la capacidad de la báscula.		Pesos de carga menores en de la capacidad de la báscula.	
	Dosificación Individual	Dosificación Acumulada	Dosificación Individual	Dosificación Acumulada
Cemento y otros materiales cementantes, en %	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	No menor al peso requerido ni más de 4% del peso requerido	
Agua (por volumen o peso), en %	$\pm 1\%$	No recomendado	$\pm 1\%$	No recomendado
Agregados, en %	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 0.3\%$ de la capa- cidad de la báscula $\pm 3\%$ del peso acumulado requerido, el que sea menor.
Aditivos (por Volumen o peso), en %	$\pm 3\%$	No recomendado	$\pm 3\%$	No recomendado

Cementantes.

Con excepción de que específicamente sea permitido algún procedimiento diferente, el cemento debe medirse en peso. Cuando se especifiquen aditivos minerales en la mezcla de concreto, deben ser pesadas en forma acumulativa con el cemento, en una bascula y con un alimentador de material que los pesa por separado de aquellos utilizados para otros materiales. El cemento debe ser pasado antes que los aditivos minerales. Cuando la cantidad de cemento exceda de 30% de la capacidad total de la báscula, la cantidad de cemento debe de estar entre el $\pm 1\%$ del peso requerido, y el peso del cemento más los aditivos minerales tiene que estar también entre el $\pm 1\%$ del peso requerido. Para mezclas pequeñas, hasta un mínimo de 1 m³, la cantidad de cemento y la cantidad acumulativa de cemento mas aditivo mineral, no debe ser menor que la cantidad requerida ni más un 4% en exceso.

Agua

El agua de mezclado consiste en agua añadida a la mezcla, hielo, agua de la superficie saturada de los agregados y agua incluida en forma de aditivos. El agua de mezclado debe medirse en peso o en volumen con precisión del 1% del total de agua requerida. La cantidad total de hielo añadido, debe medirse por peso. En caso de camiones mezcladores, cualquier agua producto del lavado de las ollas y que permanecen en la misma para usarla como agua de mezclado en la próxima mezcla de concreto, debe ser medida con precisión, si lo anterior es prácticamente imposible se debe desechar toda el agua de lavado antes de cargar la próxima mezcla de concreto. Toda el agua (incluyendo el agua de lavado), debe pesarse con una precisión de $\pm 1\%$ de la cantidad de agua especificada.

Agregados.

Los agregados deben ser medidos por peso, sus pesos deben basarse en materiales secos, tomando en cuenta el peso de los materiales secos más el peso total de la humedad contenida en los agregados, la cantidad de agregados usados en cualquier mezcla, debe ser pesada con una tolerancia de $\pm 2\%$ del peso requerido cuando se pese un lote específico de agregado en forma separada. En caso de pesarse todos los agregados juntos, la tolerancia es de $\pm 1\%$ del peso acumulado requerido, cuando la báscula es usada a más de un 30% de su capacidad. Para suma de pesos que no rebasen el 30%, la tolerancia será de $\pm 0.3\%$ de la capacidad de la báscula o $\pm 3\%$ del peso total requerido, cualquiera que sea menor.

Aditivos

Los aditivos en polvo deben ser medidos por peso y los aditivos en pasta o líquidos por peso o volumen. Las mediciones volumétricas deben tener una precisión de $\pm 3\%$ de la cantidad total requerida o más menos el volumen de la dosis requerida por un saco de cemento, cualquiera que sea mayor.

Mezclado.

El mezclado generalmente se hace en plantas centrales o en locales o equipo portátil. Las mezcladoras de diseño satisfactorio tienen un arreglo de aspas en espiral y una forma de tambor, para asegurar de extremo a extremo el intercambio de materiales paralelo al eje de rotación, o un movimiento envolvente que voltea y esparce la mezcla sobre sí misma al mezclarse.

Mezcladoras y Agitadoras.

Las mezcladoras pueden ser estacionarias o de camión mezclador. Los agitadores pueden estar montados en camiones mezcladores o en camiones con agitador.

Las mezcladoras estacionarias deben estar equipadas con una placa o placas de metal, donde se indique la velocidad de mezclado del tambor o de las paletas, así como la capacidad máxima en volumen de concreto premezclado, cuando se utilice para mezclar totalmente el concreto. Las mezcladoras estacionarias deben estar equipadas con un medidor de tiempo que no permita la descarga del concreto, hasta que se haya completado el tiempo de mezclado especificado.

Cada camión mezclador o agitador debe tener en un lugar visible una placa o placas metálicas, en las cuales se indiquen claramente el volumen bruto del tambor contenedor, la capacidad del tambor en términos de volumen de concreto premezclado y las velocidades de rotación mínima y máxima del tambor, aspas o paletas. Cuando el concreto se mezcle en camión o para mezclados iniciados en planta fija y terminados en tránsito, el volumen de la mezcla no debe exceder del 63% del volumen total del tambor o contenedor. Cuando el mezclado se lleva a cabo totalmente en una mezcladora, el volumen de la mezcla transportada en el camión revolvedora o agitador, no debe exceder del 80% del volumen total del tambor o contenedor. Los camiones mezcladores o camiones con agitador deben estar provistos de dispositivos que permitan verificar el número de revoluciones del tambor, aspas o paletas.

Los tipos más comunes de equipo para mezclado son:

a) Mezcladoras de tambor basculante. Esta es una mezcladora de tambor giratorio, que descarga al inclinar el eje del tambor. En el modo de mezclado puede estar ya sea en posición horizontal o a un cierto ángulo con respecto a la horizontal.

b) Mezcladoras de tambor no reclinable. Esta es una mezcladora de tambor giratorio que se carga, mezcla y descarga con el eje del tambor en posición horizontal.

c) Mezcladoras de eje vertical. Con frecuencia se conoce este tipo de mezcladora como de turbina o de batea. El mezclado se efectúa en hojas o paletas giratorias montadas en un eje vertical, en una batea, ya sea estacionaria o que gira en dirección opuesta a las hojas. La mezcla puede ser fácilmente observada y se puede ajustar con rapidez si fuera necesario. Esta mezcladora hace un trabajo excelente en concretos relativamente secos.

d) Mezcladora de paleta. Esta mezcladora usa hojas horizontales y es apropiada para mezclas de concreto grueso y áspero. Se emplea principalmente en la producción de unidades de bloques de concreto.

e) Camiones mezcladores. Actualmente existen dos tipos de camiones mezcladores de tambor giratorio: de descarga posterior y de descarga frontal. Predomina la mezcladora de eje inclinado y de descarga posterior. Ambos utilizan aletas pegadas al tambor para mezclar el concreto en el modo de mezclado y las mismas aletas descargan el concreto cuando se invierte la rotación del tambor.

f) Equipos de mezclado continuo. La mezcla se lleva a cabo por medio de una aspa en espiral, que gira a velocidades relativamente altas en el interior de una artesa encerada e inclinada de 15 a 25 grados de la horizontal.

El concreto mezclado en planta debe adecuarse a lo siguiente: El tiempo de mezclado debe basarse en la capacidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme en cada mezcla y mantener la misma calidad entre las mezclas siguientes. Las recomendaciones del fabricante y las especificaciones usuales, tales como 1 minuto por $3/4$ de m^3 , más $1/4$ de minuto por cada metro cúbico adicional de capacidad, pueden utilizarse como guías satisfactorias para establecer el tiempo de mezclado inicial, sin embargo el tiempo de mezclado debe basarse en la efectividad de la mezcladora (pruebas de uniformidad).

En el concreto mezclado en camiones, generalmente se especifican de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado cuando la mezcla se hace en los camiones. La norma ASTM C94 limita el número total de revoluciones a un máximo de 300, esto es con el fin de evitar el molido de los agregados suaves, la pérdida de revenimiento, el desgaste de la mezcladora y otros efectos indeseables en el concreto en clima caliente. Si transcurre un tiempo adicional después del mezclado y antes de la descarga, la velocidad del tambor se reduce a la velocidad de agitación o se detiene. Luego, antes de la descarga, la mezcladora se debe operar a velocidad de mezclado por aproximadamente 30 revoluciones para aumentar la uniformidad.

LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO ES AFECTADA POR LA DISPOSICION DE LAS TOLVAS DE ABASTECIMIENTO Y DE LAS BASCULAS DOSIFICADORAS

a

CORRECTO **INCORRECTO**

Fondo conbeto con inclinación de 50° en relación con la horizontal en todos los sentidos hacia la salida, con las esquinas de modo que el material se deslice fácilmente sin patearse.

Depositos de fondo plano o con cualquier combinación de pendientes que tengan esquinas o áreas ocasionando que no todo el material en la tolva fluya fácilmente por la salida sin patearse.

PENDIENTE DEL FONDO DE LAS TOLVAS PARA AGREGADO

b.

CORRECTO **INCORRECTO**

El material cae verticalmente en la tolva, directamente sobre la abertura de descarga, permitiendo la descarga del material más uniforme.

Caída del material dentro de la tolva en ángulo. El material que no cae directamente sobre la abertura no siempre resbala uniformemente al descargarse.

LLENADO DE LAS TOLVAS DE AGREGADOS

c.

Tolvas de grava dispuestas concéntricamente alrededor de las tolvas de cemento.

Tolvas de cemento sobreadas en el centro.

Tolvas de agregado colocadas alrededor del compartimiento central de cemento.

Forma hexagonal o cuadrada.

Dosificador suspendido a la mezcladora o al camión.

Las tolvas pueden estar alineadas con la descarga de la banda transportadora a la tolva de la mezcladora. Es bien mezclado, pero el equipo debe ser capaz de contener fácilmente.

DISPOSICION DESEABLE **DISPOSICION ACEPTABLE**

Pesado automático de cada ingrediente en dosificadores separados, que descargan en el cono colector directamente dentro de la mezcladora. Descarga controlada de los dosificadores de cemento de manera que este fluya dosificadores permanecen aislados del efecto vibratorio en forma simultánea con la descarga de agregados. Los de la planta. Esta disposición permite corrección en la sobrecarga.

Pesado automático de los agregados, ya sea separada o colectivamente. Cemento pesado separadamente. Dosificadores aislados del efecto vibratorio de la planta. El flujo de peso visible al operador es necesario a veces en el caso de materiales. Evite el flujo de agregados sobre la superficie del material en la tolva. Esta disposición no permite corrección en la sobrecarga.

d.

Aberturas laterales.

Dosificador acumulativo (el cemento se pesa por separado).

Abertura en las esquinas.

ACOMODOS POCO CONVENIENTES

Cualquiera de las disposiciones que se ven arriba para descarga de tolvas con fuertes pendientes provocan segregaciones y deterioro en la uniformidad.

e.

Vista lateral.

Vista del extremo.

DISPOSICION PREFERIBLE

Pesado automático y acumulación de agregados que se llevan a la mezcladora por banda transportadora. El cemento pesado separadamente se descarga en forma controlada de manera que el cemento fluya mientras los agregados se descargan.

DISPOSICION ACEPTABLE

Pesado automático y acumulación de agregados. El cemento pesado separadamente se descarga en forma controlada de manera que el cemento fluya mientras los agregados se descargan.



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO

**CONFERENCISTA
ING. SERGIO GARCÍA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

ING. SERGIO GARCIA *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D F. Tel. 521-4020 al 25. 521-7335 Fax: 410-0573 y 512-5121, internet: fgarza @ tolsa.mineria.unam.mx
Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd. Adolfo López Mateos, No 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F.
Tel y fax: 272-8981, 272-9011, y 515-3154, email: amicpac @ netmet.com

* Gerente Técnico de Concretos Metropolitanos, S.A. de C.V.

TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

TRANSPORTE:

El concreto se puede transportar por métodos y equipos diversos, tales como.

Camión revolvedor; camión de caja fija con o sin agitadores; cucharones, por conductos o mangueras; o por bandas transportadoras.

El método de transportación que se use debe entregar eficientemente el concreto en el punto de colocación y sin alterar, significativamente, sus propiedades deseadas con respecto a la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. Cada método de transportación tiene ventajas bajo condiciones particulares, tales como: ingredientes y proporciones de la mezcla, tipo y accesibilidad de colocación, capacidad de entrega requerida, localización de la planta de dosificación, condiciones ambientales y otros. Estas diferentes condiciones se deben revisar con detenimiento al seleccionar el tipo de transportación que mejor se adapte, para obtener económicamente un concreto de calidad en el lugar de colocación.

a) *Camión Revolvedor:*

Por este método el camión revolvedor, sirve como unidad agitador de transporte. El tambor se gira a una velocidad de carga durante la carga (6 a 18 r.p.m.) y luego se reduce a velocidad de agitación después de completar la carga (2 a 6 r.p.m.) El tiempo transcurrido para la descarga y colocación del concreto es de 1 ½ horas posteriores al mezclado.

b) *Camión de caja fija con o sin agitador*

Las unidades que se emplean en esta forma de transporte constan de una caja abierta, montada sobre un camión. La caja metálica debe tener superficies de contacto lisas, perfiladas y en general, esta diseñada para descargar el concreto por la parte de atrás, cuando la caja es volteada, se debe tener una puerta de descarga y vibradores montados en la caja para controlar el flujo. Un agitador ayuda en la descarga y mezcla el concreto al descargarse, jamás se debe agregar agua en la caja del camión porque no se logra nada mezclar con el agitador.

El uso de cubiertas protectoras para las cajas de camión en lugares donde exista mal clima, la apropiada limpieza de todas las superficies de contacto y caminos de transporte llanos, contribuyen significativamente a la calidad y eficiencia de esta forma de transportación. El máximo tiempo de entrega, usualmente especificado, es de 30 a 45 minutos, aunque las condiciones de temperatura puedan requerir de menos tiempo o permitan tiempos más largos.

c) *Cucharones:*

Estos se emplean junto con grúas, cablevías y helicópteros para la construcción de edificios y presas. Transportan concreto directamente desde el punto control de descarga hasta la

cimbra o a un punto de descarga secundario. Permiten explotar totalmente la versatilidad de grúas, cablevías y helicópteros, tienen una descarga limpia. Amplio rango de capacidades.

Es conveniente vigilar que la capacidad del cucharón concuerde con el tamaño de la mezcla de concreto y con la capacidad del equipo de colocación. La descarga deberá ser controlable.

d) *Por conductos o mangueras:*

El concreto bombeado se puede definir como concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles apropiadas. Este procedimiento se puede emplear en casi todas las construcciones de concreto, pero es especialmente útil donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados. Las bombas de concreto generalmente están montadas en camiones.

Las bombas de concreto varían de pequeñas unidades con presiones de bomba de 17 a 21 kg/cm² y entregas de 11 a 23 m³/h hasta grandes unidades que ejercen presiones de 70 kg/cm² sobre el concreto y tienen un potencial de entrega de hasta 115 m³/h. La mayoría de las bombas montadas en camiones, que están equipadas con pluma de colocación operada hidráulicamente se articula o se reduce y extiende para colocar el concreto en donde se necesita.

La experiencia en el bombeo ha dado como resultados una capacidad razonable para predecir el éxito del bombeo en donde las proporciones de mezcla conocidas y bien controladas están armonizadas con un equipo de bombeo y tuberías apropiadas.

Bombas de pistón

Estas bombas se componen de una tolva equipada con paletas remezcladoras para recibir el concreto y un pistón que opera un cilindro y que jala concreto de la tolva en su carrera de retroceso y lo empuja desde el cilindro al tubo o a la manguera en la carrera de ida. En el extremo de la línea, en el área de colocación descarga la cantidad de concreto correspondiente. Hay disponible una gran variedad, tanto en el diseño de pistones, disposición de válvulas mecanismos de transmisión, como en la fuerza motriz que emplean.

La capacidad de trabajo de una bomba y de un sistema de tubería depende de varios factores entre ellos la longitud de la línea, la altura a la cual se bombea el concreto, superficie interior del tubo, codos, acoplamientos y mezcla del concreto.

e) *Bandas transportadoras.*

Las bandas transportadoras para concreto están especialmente diseñadas o modificadas para transportar concreto fresco desde una fuente de alimentación hasta las cimbras. El colado del concreto por medio de bandas transportadoras debe de ser esencialmente una operación continua. El máximo éxito requiere de una alimentación constante de concreto apropiadamente mezclado para cargar la banda transportadora y una disposición para mover el punto de descarga durante el colado, de modo que el concreto fresco sea depositado sobre todo el área sin la necesidad de volverlo a manejar o de una vibración excesiva.

La máxima eficiencia y capacidad de colocación con las bandas transportadoras, se puede obtener con una mezcla homogénea de concreto en donde el revenimiento controlado este dentro de la gama de 5.0 a 10.0 cm. La velocidad de la banda llega ser más crítica cuando el revenimiento esta fuera de esta gama ideal, generalmente, revenimientos más bajos requieren de bandas con movimiento más lento mientras que revenimientos más altos requieren de bandas con movimientos más bajos.

La fluidez determina la sección transversal que se puede acarrear sobre la banda y también afecta el ángulo de inclinación máximo o declinación en el que una banda transportadora puede manejar el concreto. Una buena regla práctica es que una banda transportadora de concreto puede operar con menos de un 10% de pérdida de la capacidad horizontal un ángulo de 20 a 25 grados, cuando está equipada con una banda suave y un ángulo hasta 30 a 35 grados cuando la banda esta equipada con pequeñas corrugaciones rectas o costillas sobre la superficie transportadora de carga.

Los anchos de bandas comúnmente usados varían de 40 cm con una capacidad de 75 m³ hasta 60 cm; con una capacidad de 270 m³/h para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo los requisitos para diferentes proyectos han dado como resultado tres clases o tipos distintos de transportadoras que se desarrollaron para la colocación del concreto.

I) Portátiles.

Su tamaño está limitado por restricciones de las carreteras y la longitud máxima es usualmente de 18 m. Esta longitud establece un alcance horizontal máximo de 20 m Y una altura de descarga limitada por el ángulo máximo de elevación de aproximadamente 10 m.

II) De alimentadores en serie:

Estas miden de 9 a 12 m. de largo para trabajos de corta duración existen otras que van de 26 a 30 m. De largo para proyectos de mayor duración.

III) De distribución:

- a) **Radiales.** Como su nombre lo indica, estas transportadoras emplean un soporte que abanica el extremo de descarga de la transportadora a través de un arco hasta de 360°
- b) **En línea recta.** Estas transportadoras de descarga lateral cubren por completo el área de colocación descargando concreto al lado de la cinta con un curado o dispensador móvil.

COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

La colocación de concreto se efectúa con recipientes, tolvas, carretillas conductos o tubos de caída, bandas transportadoras, bombeo, tubo - embudo y equipo de pavimentar

La selección del equipo se debe basar en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar mediante vibración.

Una planeación anticipada debe asegurar una provisión adecuada y consistente del concreto. Se debe prever suficiente capacidad de colocación, de manera que el concreto se mantenga plástico y libre de juntas frías mientras se coloca todo el equipo para colocación debe estar limpio y en buen estado. También se debe arreglar de modo que el concreto se entregue en su posición final su segregación objetable.

El equipo debe disponerse de tal manera que el concreto tenga una caída vertical libre hasta el punto colado o hasta el interior del contenedor que lo reciba. El chorro de concreto no debe separarse, permitiendo que caiga libremente sobre varillas, espaciadores, refuerzos u otros materiales ahogados. Si las cimbras están suficientemente abierta y libres, de manera que no estorben la caída vertical del concreto en el lugar de colocación generalmente es preferible la descarga directa y sin el empleo de tolvas, conductos o vertedores. El concreto debe ser depositado en o cerca de su posición final durante su colocación, ya que presenta la tendencia a segregarse cuando tiene que hacerse fluir lateralmente hasta su lugar.

a) Tolvas de sección circular y rectangulares.

Las tolvas de sección circular con descarga por la parte inferior, diseñadas apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el menor revenimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Esta tolva de sección circular debe ser del tipo de autolavado en el momento de la descarga y el flujo de concreto debe empezar al abrirse la compuerta de descarga. Las compuertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a, por lo menos, cinco veces el tamaño máximo del agregado que se emplee. Las paredes laterales deben ser inclinadas, por lo menos, 60 grados respecto a la horizontal

El control de la tolva y de su compuerta de descarga se deben hacer de tal manera que asegure, en lo posible, un chorro continuo de concreto descargado contra el concreto previamente colocado. El amontonamiento de concreto por la descarga de las tolvas demasiado cerca de la superficie, o mientras están en movimiento, da lugar a causas comunes de segregación.

A fin de evitar la contaminación, el concreto derramado no se debe palear de nuevo hacia dentro de las tolvas para su uso posterior y el concreto recién terminado se debe proteger evitando balancear las tolvas directamente sobre él

A fin de agilizar el programa de colocación, se recomienda el uso de dos o más tolvas por cada grúa.

b) Carretillas manuales o motorizadas ("buggies")

Las carretillas deben correr sobre vías lisas y rígidas apoyadas independientemente y bien colocadas sobre el acero de refuerzo. El concreto transportado por estas carretillas tiende a segregarse durante el movimiento. El entarimado debe juntarse a tope en vez de traslaparse, para mantener una superficie lisa y evitar así la separación de los materiales del concreto durante el tránsito.

La distancia máxima de entrega horizontal recomendada para transferir el concreto por medio de carritos manuales es de 60 m y para los motorizados de 300 m. Los carritos manuales varían en capacidad desde 0.2 m³ con una capacidad de colocación que varía de 2 a 4 m³ por hora. Los carritos motorizados están disponibles en tamaños de 0.3 m³, con una capacidad de colocación que va de 11 a 15 m³ por hora, dependiendo de la distancia recorrida.

c) Canalones y tubos de caída

Los canalones se emplean con frecuencia para trasladar concreto de elevaciones superiores a inferiores. Deben ser de fondo curvo, construidos o forrados de metal y tener suficiente capacidad para evitar derrames. La inclinación debe ser constante y suficiente para permitir que el concreto del revenimiento requerido en el sitio, fluya continuamente por el canalón sin segregarse.

Es necesario controlar el flujo del concreto en el extremo del canalón para evitar la segregación.

Los tubos de caída que se emplean para trasladar verticalmente el concreto desde niveles altos son circulares. El tubo debe tener un diámetro de, por lo menos, ocho veces el tamaño máximo del agregado. Debe ser firme, a plomo, y colocarse de tal manera que el concreto caiga verticalmente.

Se pueden usar tubos de caída de plástico o de hule o tubo-embudos ("tremies") y recortarse en lugar de elevarlos a medida que progresa la colocación. Al emplear tubos de caída de plástico, hay que asegurarse de que no se doblen o arruguen.

d) Equipos de pavimentación

El empleo de mezcladoras grandes, esparcidoras de alta capacidad y pavimentadoras de cimbra deslizante, hace posible la pavimentación con grandes volúmenes de concreto a un ritmo acelerado. Para una pavimentación bien lograda, se requiere la mayor parte de los mismos principios de control de calidad que se usan en otras formas de colocación de concreto. Debido a la velocidad de la colocación, los procedimientos rutinarios de inspección necesitan ser más frecuentes, de modo que las desviaciones halladas que no cumplan los requisitos para una calidad aceptable se puedan corregir con rapidez.

Algunos de los problemas más frecuentes que pueden afectar negativamente la calidad deseada en la pavimentación también se comparten con otros tipos de colocación: por ejemplo, poca uniformidad de mezclado de mezcla a mezcla, variaciones en el revenimiento y en el contenido de aire y distribución inadecuada del mortero en el agregado durante la colocación.

· La colocación del concreto con equipo de pavimentación se trata en ACI 316.

e) *Cimbras deslizantes*

Según este método, el concreto se coloca en cimbras prefabricadas, que se deslizan más allá del punto de colocación tan pronto como el concreto ha logrado la estabilidad y rigidez necesarias para conservar su forma de diseño.

Para el empleo de cimbras deslizantes, se requiere un control cuidadoso y consistente del concreto con ajustes apropiados en el mezclado, tomando en cuenta los cambios en la temperatura ambiental.

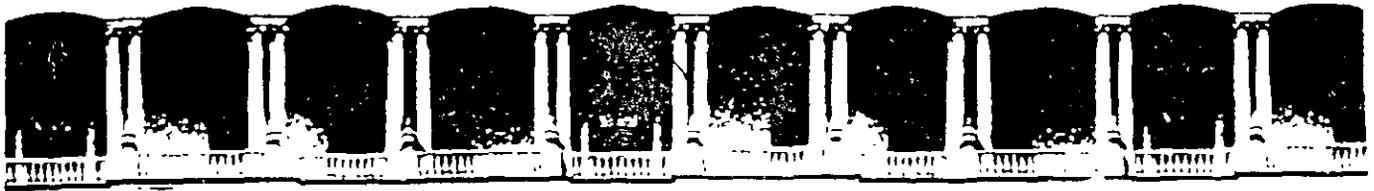
f) Tubo-embudo (tremie),

La colocación exitosa de concreto bajo el agua requiere la prevención del flujo de agua por o a través del sitio de colado. Una vez que el flujo se ha controlado, tanto la colocación por tubo-embudo (tremie), por bombeo consiste de los siguientes tres pasos:

1. El concreto colocado primero está separado físicamente del agua, usando un diablo o "cochino" en el tubo o haciendo que la boca de éste se selle y sea desaguado
2. Una vez que el tubo se llena de concreto, se eleva ligeramente para permitir que el diablo escape o que rompa el sello en el extremo. El concreto fluirá entonces y desarrollará un montón alrededor de la boca del tubo, esto se conoce como "establecer un sello".
3. Una vez que el sello quedó establecido se inyecta concreto fresco en la masa ya existente, el mecanismo exacto de flujo que tiene el lugar no se conoce con precisión, pero la mayor parte del concreto aparentemente no está expuesto al contacto directo del agua.

Los tremies de inicio usando la técnica de placa en el extremo o tubo seco, se deben llenar con concreto antes de ser elevados del fondo. El tremie debe ser elevado a un máximo de 15 cm para iniciar el flujo, y no debe ser elevado más hasta que se establezca un montón alrededor de la boca del tubo. La elevación inicial se debe hacer con lentitud para minimizar las perturbaciones del material que rodea la boca del tremie. Los tremies se deben empotrar en el concreto fresco de 1.0 a 1.5 m. Las profundidades exactas de los empotramientos dependerán de las velocidades de colocación y de los tiempos de fraguado del concreto. Todos los movimientos verticales del tubo tremie deben ser lentos y cuidadosamente para evitar "pérdida de sellado"; si ocurre una "pérdida de sellado"; en un tremie el colado a través de él se debe detener de inmediato, el tremie se debe remover y la placa del extremo se

debe reponer; el flujo debe recomenzarse tal como se ha descrito arriba. Para evitar el lavado de concreto en el lugar, se recomienda usar un diablo para recomenzar un tremie después de la pérdida del sello.



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

METROLOGÍA Y MANTENIMIENTO

**CONFERENCISTA
AMIC
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

Programa: Año 2000

CURSO:	CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO
TEMA:	METROLOGÍA Y MANTENIMIENTO
SUBTEMAS:	APLICACIONES DE LA METROLOGÍA: ✓ AL CONTROL DE LAS CALIDADES DEL PRODUCTO CUIDADOS BÁSICOS: ✓ PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE DOSIFICACIÓN Y DE PRUEBA.

Jorge Dávila Ramírez
COMITÉ TÉCNICO AMIC*

ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO, A.C.*

OBJETIVO:	PRESENTAR, CON ESTOS APUNTES Y CON LAS PRÁCTICAS ASIGNADAS AL TEMA (AUXILIADO POR LA PROYECCIÓN DE ACETATOS Y DIAPOSITIVAS): <ol style="list-style-type: none">1. <i>Un conocimiento básico de la metrología, y de los recursos metrológicos que deben aplicarse para controlar la calidad en la producción industrializada de los concretos hidráulicos</i>2. <i>Los trabajos de calibración y de mantenimiento que deben desarrollarse para tratar de asegurar que la operación del equipo de prueba y de las plantas dosificadoras de materiales trabajen en favor de:</i> "LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN"
------------------	---

ÍNDICE

TEMA	PÁGINAS
Introducción	3
Generalidades	4
De la aplicación de técnicas para medir	4 a 5
De la calibración	5
Del mantenimiento	6
De las magnitudes que se comercializan en la venta del Concreto Hidráulico	7 a 11
Del mantenimiento del equipo de producción	12
Del Equipo de producción	12 a 13
De las tolerancias en la dosificación por peso	13 a 14
De los sistemas de pesaje en los dosificadores	14
De la calibración de los dosificadores	14 a 15
De la verificación de operación de dosificadoras	15
De la calibración y mantenimiento de Maquinas de prueba	15 a 16

INTRODUCCIÓN

Para iniciar a los poco familiarizados con las utilidades que aporta la metrología a "*la producción*" y al "*juicio de la calidad del concreto hidráulico*", en esta presentación hago una exposición de las *necesidades básicas de medición y de las capacidades* con que se pueden cubrir "*las especificaciones*" de algunas normas y de algunos reglamentos para la construcción de obras de ingeniería civil, en nuestro país. Esto, suponiendo que las especificaciones han sido diseñadas para (intentar) que la producción se efectúe dentro de límites de operación confiables.

También, hago un análisis elemental de algunas formas especificadas para *medir las propiedades resultantes y para juzgar la calidad*. Esto, afirmando que el concreto hidráulico, como producto, presenta dos características que lo hacen diferente de la casi absoluta mayoría de los productos destinados a la construcción:

1. **Después de ser producido, no es almacenable** (por ser altamente perecedero, en su estado "fresco" se dispone de tiempo muy limitado para manejarlo y colocarlo)
2. **Su calidad solo puede definirse hasta después de su uso** (con pruebas de aceptación inicial se permite su colocación y la obtención de muestras con las que muchos días después se conocerá su calidad)

Antes de entrar en materia,una prueba:

Coloque la figura que se muestra a continuación, frente a sus ojos, a una distancia aproximada de 40 cm y... . **obsérvela cuidadosamente.**

Indique a continuación cual de los anchos de línea es mayor ().

¿ El de las ramas de la cruz ?

¿ El de la corona circular ?

¿ Son iguales ?

GENERALIDADES

METROLOGÍA

Podemos convenir en que ese término signifique *EL ESTUDIO DE LAS FORMAS DE MEDIR Y DE LO QUE SE NECESITA MEDIR*, o en que contenga "**LA APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS PARA MEDIR**".

La observación del dibujo que presento en la página anterior (una corona circular que contiene una cruz) da una idea de la necesidad de medir. Para algunos *y por simple observación* el ancho de las ramas de la cruz puede parecer mayor que el ancho de la corona; para otros lo contrario, y para otros, los anchos parecerán iguales. **MIDIENDO PODEMOS SABER COMO SON.**

MANTENIMIENTO:

Por definición:- **CONSERVACIÓN, CUIDADO,.....¡SUBSISTENCIA!**

OBSERVACIONES:

DE LA APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS PARA MEDIR

Una técnica para medir es:- Lo que tiene que hacer el personal que ejecuta un proceso de medición para obtener **resultados confiables**.

El objetivo de las mediciones tiene que ser:- Conocer el **valor real** de lo que se mide (valor que muchos suponen no tiene variaciones). El poder aproximarnos a este valor, está relacionado de manera muy estrecha con el conocimiento de la forma conveniente (*convenida*) para hacer las mediciones. Cuando esta forma es la mejor de que puede disponerse, bien aplicada permite la obtención de "**valores útiles**".

La exactitud de los instrumentos que se aplican a las mediciones, es un índice de que tan confiables pueden ser estas.

La especificación de las exactitudes aplicables a los procesos de producción y comercialización de uso frecuente, generalmente se hace tomando como referencia "**la experiencia**".

Cuando se hacen observaciones cuidadosas de las formas en que se efectúan las mediciones con que se intenta asegurar la calidad en diversos procesos industriales, es frecuente registrar la *falta de concentración* con que *las ejecuta* el personal encargado de hacerlas, particularmente cuando se incluyen como algo rutinario en los procesos de producción.

El buen desarrollo de los procesos de medición y/o de producción, queda unido al estado físico y a las condiciones de operación del equipo a emplear, a los procedimientos para su calibración y/o ajuste, a los requerimientos de operación y a las buenas prácticas de operación. En procesos de producción como los que se aplican al concreto hidráulico, normalmente se deben ejecutar un cierto número de mediciones controladas, que son relativamente simples.

Un ejemplo de lo que se requiere controlar, y de las mediciones que deben efectuarse para intentar hacerlo de manera adecuada, puede derivarse de la información contenida en el documento denominado **TABLE 1- SUMMARY OF COMPRESSION STRENGTH VARIABLES** (Tabla 1. Resumen de las variables en la resistencia a compresión), publicado en una de las ediciones del JOURNAL OF AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (Boletín del Instituto Americano -de los Estados Unidos de Norte América- del Concreto). Documento que entrego como Anexo Num. 1 a estos apuntes.

Es indispensable hacer notar que esa tabla está dedicada a señalar las variables que afectan a una sola de las "**pruebas**" que tiene que soportar el concreto hidráulico, para intentar determinarle sus propiedades y conocer su calidad; "**la prueba de resistencia a la compresión**".

De las 60 variables anotadas en la tabla, ocho se derivan de la forma en que se mide (dosifica) la cantidad de cada uno de los materiales componentes y, mas de veinte, de las formas (procedimientos) en que se hace la elaboración de las muestras y su manejo así como de la forma de prepararlas para su prueba y de la prueba misma (incluyendo las que *causan* las máquinas de prueba).

Aquí y antes de intentar el análisis de la forma en que hay que medir para determinar algunas características del concreto hidráulico; hay que definir claramente que, si se desea que las mediciones arrojen "**valores útiles**", **tienen que apoyarse en la calibración de los equipos de dosificación y prueba y en la buena operación de los mismos.**

DE LA CALIBRACIÓN

Una de las aplicaciones de los procesos de calibración es, poder comparar los valores que se registran en los dispositivos destinados a medir durante cualquier tipo de producción, con las medidas registradas en "**patrones de medida**" o "**dispositivos de calibración**". Estos, también tienen que estar calibrados.

Las comparaciones con que se intenta conocer si las mediciones industriales se aproximan al valor real, tienen dos propósitos básicos:

1. Verificar si en los dispositivos de medición utilizados en la producción se registran desviaciones (en más o en menos) con relación a los valores reales que deben reportar, y que tan grandes son.
2. **Si se comprueba que los dispositivos de medición utilizados en la producción tienen variaciones con respecto al valor real indicado por los dispositivos de calibración, "proceder a recalibrarlos"; es decir, a ajustarlos para que den el calibre.** Esto significa, corregir su funcionamiento para que reproduzcan dentro de tolerancias definidas, los valores "exactos" que transmiten los dispositivos de calibración.

OBSERVACIONES:

DEL MANTENIMIENTO

Cada uno de los equipos que se utilizan para la producción y para las pruebas de la calidad del concreto hidráulico, debe contar con manuales de operación, así como con instructivos de mantenimiento y calibración, que tienen que ser proporcionados a los usuarios por los fabricantes.

En esos manuales, deben encontrarse las recomendaciones para la forma en que se deben usar los equipos y evitar accidentes a los operadores o daños a los propios equipos. También deben contener las descripciones y periodicidad de los trabajos que se tienen que desarrollar para asegurar condiciones continuas de funcionamiento de los equipos.

Los equipos en buenas condiciones de funcionamiento estarán siempre en capacidad de efectuar su trabajo de manera fácil y si tienen sus dispositivos de medición calibrados, permitirán obtener valores útiles para evaluar la eficacia de las operaciones.

La mejor manera de lograr que los equipos asignados a la producción y a las pruebas del concreto hidráulico operen adecuadamente es:

Hacer que el mismo personal que se encarga de la operación de los equipos, dirija y/o ejecute trabajos de limpieza y mantenimiento preventivo, en las partes componentes que no requieren de un conocimiento especializado. Unos ejemplos de los dispositivos que requieren "mantenimiento especializado" son, los indicadores de carátula o las "consolas" y tableros eléctricos, electrónicos o computarizados con que se controlan las cantidades de los materiales (dosificación).

Más adelante daré una breve relación de los trabajos de mantenimiento rutinario más comunes para los equipos. Ahora mencionaré de manera genérica algunos puntos importantes, afirmando inicialmente que todos los equipos se diseñan considerando que en su operación se requerirá algún tipo de mantenimiento.

En las plantas dosificadoras (equipadas o no con mezclador central), las condiciones de mantenimiento más importantes son limpieza y lubricación en:

- Chumaceras
- Baleros
- Engranés
- Reductores de velocidad
- Compresores
- Gatos hidráulicos o neumáticos
- Bombas hidráulicas o de agua
- Líneas de aire y/o hidráulicas
- Conectores Eléctricos

OBSERVACIONES:

DE LAS MAGNITUDES QUE SE COMERCIALIZAN EN LA VENTA DE CONCRETO PREMEZCLADO

En las Normas y/o en los "Reglamentos de Construcción" que se aplican en México casi de manera generalizada a la producción y por lo tanto a la comercialización del Concreto Hidráulico, "se especifican" las características que se tienen que entregar como resultado de las ventas.

Un ejemplo de los conceptos que se comercializan rutinariamente y que son de conocimiento común (eso suponemos), son:

- Volumen
- Resistencia
- Revenimiento

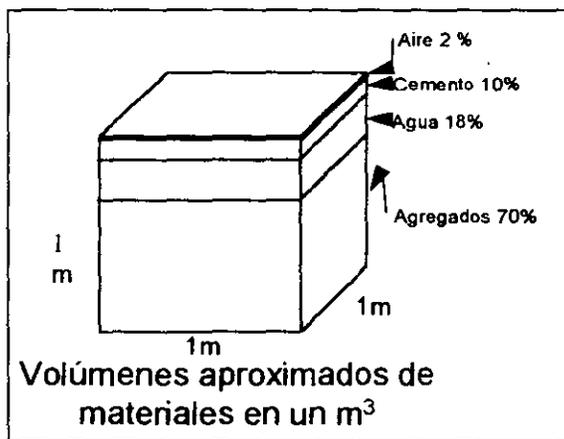
Otro ejemplo de lo que se ha tenido que comercializar en el área metropolitana de la Ciudad de México y que se está extendiendo en muchos estados de nuestra República, son "los valores límite" para algunas características de comportamiento del concreto especificados en el Reglamento para las Construcciones del Departamento del Distrito Federal :

- Peso Volumétrico en estado fresco
- Módulo Elástico
- Deformación "Diferida"
- Contracción por Secado

En diversos países esos valores "se suponen" como criterios de diseño o "se verifican" con propósitos de control de producción. Aquí, se constituyeron en "pruebas de aceptación de la calidad" de los suministros de concreto:

Conociendo esto, es conveniente intentar una revisión simple de la forma de controlar y verificar el cumplimiento de los requerimientos mencionados:

EL VOLUMEN



Siendo la unidad de comercialización en la República Mexicana el Metro Cúbico (m³), en la Norma Mexicana NMX-C 155 (la de mayor aplicación en las transacciones comerciales) se especifica que los volúmenes de concreto fresco deben entregarse "**cumpliendo con una tolerancia de $\pm 1\%$** ".

Es decir: - **Se admite legalmente la entrega de uno por ciento menos volumen (o de mas)**

?????.....?????

Hay dos maneras clásicas con que se intenta comprobar (cuando se producen reclamaciones), si los volúmenes diseñados y suministrados por los productores, corresponden con los "requeridos" por los constructores para llenar los elementos a colar.

- **La más frecuente** que se ha tenido y se tiene que desarrollar, por carencia de acuerdos o

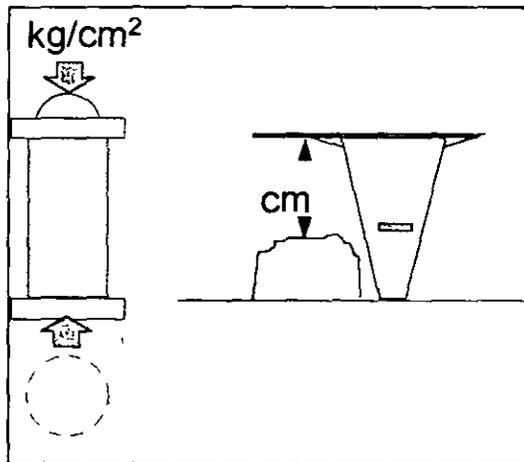
especificaciones contractuales, es, "midiendo el concreto colocado con una cinta métrica". Esto presenta muchas dificultades. A simple vista es muy difícil identificar en el concreto colocado las diferencias de espesor producidas por irregularidades en la colocación o en las cimbras, o por sobre excavaciones o por desconocimiento del porcentaje de los desperdicios (mermas) que de manera normal se producen en casi todos los colados; etc.

- **La menos frecuente** pero más aproximada, consiste en pesar el contenido de cualquiera de las unidades con que se transporta el concreto y comparar el valor obtenido con el correspondiente al diseño teórico del proporcionamiento ya que el peso se dosifica en base a las **densidades** de cada uno de los materiales componentes.

La correspondencia depende de qué tan bien se hacen las determinaciones en el laboratorio (control) con que se definen las densidades y para las que se requieren balanzas con sensibilidad de 0.1 g y "medidores de volumen" en los que se pueda aproximar la medida hasta 0.1 cc. Además, es necesario que los procesos involucrados en las determinaciones, sean desarrollados por personal bien entrenado y con buen grado de conocimiento de los materiales por examinar, que le permita identificar las variantes que muchas veces presentan con respecto a las especificaciones más conocidas y conocer la forma de superar las limitaciones del equipo de prueba de que disponen; "verificando su funcionamiento" (se presentan diapositivas).

Conseguir el volumen especificado en la producción, se deriva del conocimiento de las variaciones físicas de los materiales y se puede controlar y verificar con Pruebas de Rendimiento Volumétrico; pruebas que están asociadas íntimamente con las determinación del peso volumétrico (ver). La correcta ejecución de estas requiere de ingenio no descrito en las especificaciones, sobre todo cuando se ejecutan "para hacer una verificación" (explicación en diapositivas).

LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL REVENIMIENTO



El cumplimiento con la resistencia especificada a la compresión (f'_c):

Las especificaciones extranjeras más comunes piden que se determine de manera estadística, apoyándose en los valores de pruebas ejecutadas con exactitud de $\pm 1\%$, ejecutadas con velocidades de carga controladas, en máquinas operadas a motor.

La especificación mexicana establece que se determine también estadísticamente, probando con exactitud de \pm (mas o menos) 3% cilindros de concreto de dimensiones normalizadas. Esta "tolerancia" se ha mantenida en especificaciones, por razones metrológicas prácticas, asociadas al número y tipo de máquinas de prueba con que se efectúan esas pruebas, y a las velocidades con que son capaces de aplicar la carga.

La caracterización de la resistencia se inicia comúnmente con el diseño de las mezclas, a partir de la determinación de las densidades, absorciones y granulometrías de los "*materiales pétreos*" y de conocer (si es posible) la calidad de las aguas, cementos y aditivos.

La caracterización de la resistencia se inicia comúnmente con el diseño de las mezclas, a partir de la determinación de las densidades, absorciones y granulometrías de los "*materiales pétreos*" y de conocer (si es posible) la calidad de las aguas, cementos y aditivos.

Los equipo mas comúnmente empleados para determinar las características en que se basa el diseño, además de los que se usan para determinar las densidades, son básculas que deben tener sensibilidad de 10 g, recipientes de volumen conocido, termómetros y hornos o parrillas. Los termómetros deben registrar cambios de 1°C . También se pide que los hornos estén "*calibrados*"

Con los datos obtenidos, se ajustan las mezclas de prueba a las condiciones reales de producción y con esto se inicia tanto el control como la verificación de la resistencia a la compresión de los concretos hidráulicos.

Frecuentemente se registran controversias, por diferencias entre los resultados de prueba reportados por los *laboratorios encargados de verificar la calidad* y los obtenidos en los laboratorios de control de los productores. Las diferencias se deben generalmente a deficiencias de los especímenes, a desviaciones en los procedimientos aplicados para su elaboración o prueba y a la falta de mantenimiento del equipo con que se preparan las muestras; mas que a diferencias en la calibración de las máquinas de prueba empleadas (se presenta explicación soportada en diapositivas y acetatos).

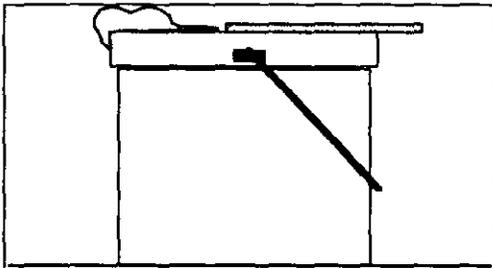
La medida del Revenimiento:

Algunas especificaciones extranjeras difieren de la mexicana, en la exactitud con que se debe medir y también en las de las dimensiones del equipo que se debe usar:

- En nuestro país (México), siguiendo el procedimiento especificado y empleando moldes cónicos (truncados) de dimensiones básicas 10-20-30 (cm), hay que aproximar las mediciones al medio centímetro más cercano.

Aquí, igual que en el caso de los valores de resistencia, las desviaciones con respecto al valor real son causadas por deficiencias cotidianas en la aplicación de los métodos de muestreo y ejecución de los procedimientos de verificación y por las condiciones del equipo. (se presentan diapositivas).

PESO VOLUMÉTRICO EN ESTADO FRESCO



De manera igual que cualquier otra determinación de las características del concreto fresco, esta tiene que hacerse con dispositivos calibrados.

Aquí (en México), se utilizan de manera común recipientes cilíndricos de aproximadamente 14 litros de capacidad; capacidad que hay que determinar siguiendo un procedimiento especificado para medir el volumen o, midiendo en básculas (*cucharón y/o plataforma*) de 120 kg de capacidad que tengan escalas graduadas con divisiones de 100 gramos (intervalo considerado suficiente para la determinación), el peso del agua que pueden contener.

Para hacer bien la determinación, es necesario conocer la respuesta de medición de las básculas, tanto para los pesos que se registran en el cucharón(cuando lo tienen) como en la plataforma. Si no se conoce la calibración de las básculas, existe una manera rápida para estimar manera aproximada como pesar. Consiste en "*pesar*" (cuando los tienen), tanto en el cucharón como en la plataforma (aquí hay que extrapolar) los contrapesos (taras) propios de las básculas; ya que, como normalmente tienen grabados sus propios pesos, se les puede comparar contra las lecturas de las escalas.

Esto último (aunque no es permitida la extrapolación), sirve inicialmente para conocer si no existen daños en los propios contrapesos; daños que puedan causar diferencias en las medidas.

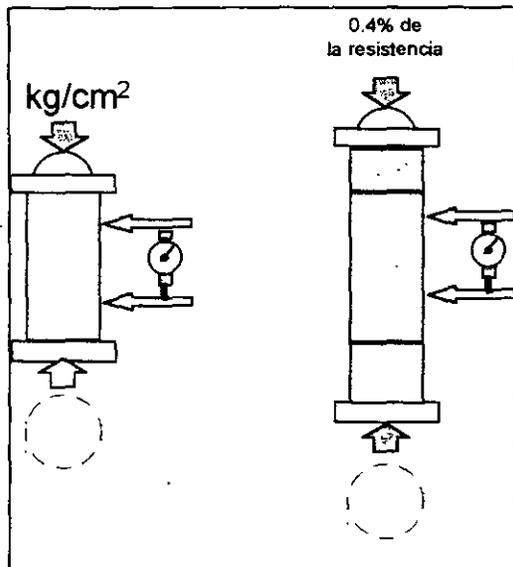
Dos errores son los más comunes en esta determinación:

- Enrasar el recipiente con una varilla y no con una placa
- **Pesar el recipiente en lugares donde se registran corrientes de viento, sobre todo si estas son intermitentes.**

También aquí en la determinación del peso volumétrico, las diferencias y controversias se deben más a errores en el procedimiento que a errores en la calibración de las básculas o recipientes.

La determinación del peso volumétrico se estableció como moda en México, cuando fué incluida en el texto del Reglamento para las Construcciones del Departamento del Distrito Federal. Este fué formulado después del Sismo que causó daños terribles en la Ciudad de México y en otros lugares de la República Mexicana en el año de 1985. El propósito de incluirla como prueba de aceptación, fue y se mantiene, "para identificar fácilmente los suministros de los dos tipos de concretos estructurales considerados en el texto de ese reglamento".

MODULO ELÁSTICO Y DEFORMACIÓN DIFERIDA



La determinación del módulo elástico es otra de las muchas destinadas a conocer las propiedades del concreto hidráulico. La ejecución de esta "determinación" se consideró originalmente para muestras de concreto fresco procesadas en condiciones de laboratorio, buscando dar soporte al valor que se supone en el diseño.

En el reglamento que he citado "se incluyó como prueba de verificación", especificando la obtención de muestras en el campo y los valores mínimos que debe cumplir "cada una de las clases de concretos estructurales definidas en el texto".

Los valores mínimos originalmente establecidos ya fueron disminuidos, por que se demostró que además de las variaciones naturales del concreto, ocurren fuertes variaciones en la determinación resultante de las formas de obtención de las muestras en las obras y de la prueba.

En la prueba, ñas variaciones se deben principalmente a dos causas; una se derivada de las condiciones de los equipos que se emplean y la otra de la poca práctica en la ejecución de los "procedimientos de prueba", para los que no se ha conseguido un nivel adecuado de estandarización.

- Para el registro de los datos, se depende de la ejecución de pruebas de resistencia a la compresión de cilindros de concreto, con velocidad modificada con respecto a la prueba común de resistencia a la compresión, a los que se les miden las deformaciones unitarias resultantes de los esfuerzos inducidos *acoplándoles deformímetros*.
- El obtener los mejores valores posibles depende básicamente de utilizar máquinas de ensayo calibradas y en buenas condiciones de operación, que permitan efectuar lecturas de las cargas aplicadas con exactitud de $\pm 1\%$ y aplicar la velocidad dentro de los rangos especificados; midiendo con deformímetros en buenas condiciones y bien operados las deformaciones, "con aproximación mínima de 2.54 micrómetros"

La calibración de las máquinas de compresión se puede realizar de manera relativamente fácil. La de los deformímetros, que corresponde a comparaciones de "metrología dimensional", no es muy común (se comentará un método alternativo de estimación de las condiciones de funcionamiento).

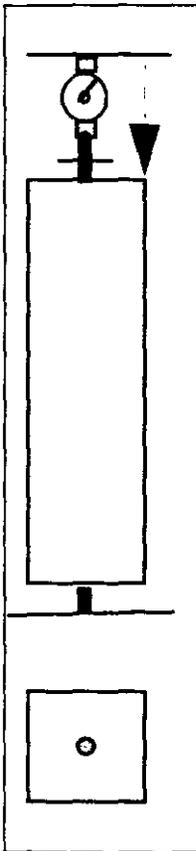
La comparación del comportamiento de los concretos sometidos a prueba, **contra los valores que se especifican en el reglamento ya citado**, se hace, dividiendo el resultado del cálculo del "Módulo Secante" (o Módulo de Young) derivado de los datos de cada prueba, "entre la raíz cuadrada de la f_c ".

La determinación de la deformación diferida que como prueba de aceptación del concreto ya desapareció de las especificaciones de ese reglamento (pero que se menciona ahí como "un valor a considerar), tiene para nosotros como principal dificultad de ejecución que no estamos acostumbrados (casi de manera general) a efectuar pruebas en ambientes con temperatura y humedad controlada; es decir, "en condiciones ambientales controladas", unidas a la condición de aplicar cargas sostenidas sobre los especímenes, que si bien no son tan grandes como las requeridas para llevar a la falla los especímenes paralelos requeridos para establecer el valor de las que se deben aplicar, "se, deben mantener constantes" por periodos determinados.

Esto último obliga a contar con máquinas de prueba que puedan ser asignadas a la aplicación y mantenimiento de las cargas calculadas, para cada nivel de resistencia de los concretos que se suministran, por periodos muy largos; trabajando dentro de cuartos con temperatura controlada.

Esas máquinas deben tener la capacidad para permitir ajustar rápidamente las disminuciones de carga que normalmente se registran durante el periodo de prueba como consecuencia de la deformación que sufre el sistema sometidos a prueba, que se integra con los especímenes sometidos a prueba y secciones obtenidas de similares que se utilizan como medio de transferencia. Los ajustes deben efectuarse cuando se registren desviaciones de 2% con relación a la carga que deben sostener (explicaciones en las instalaciones del laboratorio de la AMIC).

CONTRACCIÓN POR SECADO



Esta otra determinación, que también ya fue eliminada como condición de aceptación (del texto del reglamento al que he venido haciendo referencia) **de la calidad del concreto, también fue diseñada para efectuarse a partir de muestras de concreto fresco procesadas en condiciones de laboratorio.**

Para medir la contracción se requieren dispositivos que permitan medir fácilmente los cambios de longitud, equipados con "micrómetros de carátula" o cualesquiera otros recursos que con graduaciones de una diezmilésima de pulgada (2.54 micrómetros) tengan *precisión* de una diezmilésima de pulgada, en cualquier rango de una milésima de pulgada, y de dos diezmilésimas de pulgada en cualquier rango de una centésima de pulgada.

Además, se requiere que tengan carrera suficiente (cuando menos tres milímetros) para que se puedan cubrir las pequeñas variaciones en la longitud de medición que de manera normal se producen al elaborar "los especímenes que se tienen que probar". La calibración de estos "micrómetros" también recae en el ámbito de la metrología dimensional (en el laboratorio de la AMIC se comentará un método alternativo para verificar los micrómetros).

Esta determinación, también se especificó en el Reglamento como prueba de aceptación.

Aquí también las fuertes variaciones en los valores obtenidos, debidas a las diferencias de las condiciones de obtención de las muestras y al moldeo de especímenes en obra; así como a las dificultades de tener que mantenerlos por periodos prolongados en cuartos que a más de control de temperatura requieren del control de la velocidad de evaporación de la humedad de los especímenes (que requiere del empleo de un *atmómetro*), hicieron que fuera retirada como prueba de aceptación.

Este tipo de instalaciones, así como las requeridas para determinar la deformación diferida, pueden controlarse "de manera relativamente simple" en laboratorios centrales.

DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE PRODUCCIÓN

Reconociendo que al comercializar el concreto se tienen que cubrir requisitos como los que ya mencioné, tengo que hacer notar que la calidad de los suministros de concretos hidráulicos, así como el reconocimiento de la misma, dependen básicamente de:

1. La calidad de los materiales seleccionados para la elaboración.
2. El almacenamiento adecuado de esos materiales.
3. El diseño de las mezclas basado en las características de los materiales seleccionados.
4. El estado de funcionamiento y calibración del equipo empleado para la dosificación y carga de los materiales a los mezcladores y su operación.
5. El estado y funcionamiento de los mezcladores.
6. Las condiciones de traslado al sitio donde deba colocarse y el tiempo empleado en el transporte y descarga.
7. La toma adecuada de muestras y los cuidados que se tengan en su manejo y "curado".
8. El funcionamiento y calibración de las máquinas de prueba (prensas) y su manejo.
9. La buena aplicación de los procedimientos de prueba y de los registros.
10. La evaluación estadística adecuada de los resultados.

Todo eso, **"solamente para asegurar y conocer la calidad de las muestras de los concretos suministrados"**, ya que la calidad final del concreto depende fundamentalmente del buen manejo y compactación al colocarlo, del buen curado de los elementos estructurales en que se colocó y del uso adecuado en tiempo y capacidad de carga.

Ahora trataremos, por ser el tema asignado, lo que se refiere a los puntos 4 y 8.

DEL EQUIPO DE PRODUCCIÓN

En nuestro país utilizamos dos tipos de plantas aplicadas a la producción de concreto. Para su operación se auxilian con tolvas horizontales que tienen dispositivos neumáticos para la carga a los silos de cemento, cargadores frontales para la alimentación de las tolvas de almacenamiento o pesaje de los agregados, camiones cisterna (pipas) para alimentación de los depósitos de agua o por conexiones a las redes de abastecimiento de agua y por equipos neumáticos (generalmente) para el movimiento de los aditivos líquidos almacenados en "depósitos estacionarios".

Los tipos son:

1. **Plantas Dosificadoras**
2. **Plantas Dosificadoras y Mezcladoras**

En las primeras, se pesan (dosifican) los materiales "en seco" antes de introducirlos en camiones equipados con "revolvedora", en los que se efectúa el mezclado y el transporte. Este tipo de producción de concreto hidráulico se conoce como "de mezclado en tránsito".

En las segundas, equipadas con mezcladoras estacionarias en donde los materiales dosificados son mezclados en forma parcial o total, antes de cargar las mezclas en las unidades de transporte que generalmente y dependiendo del tipo de concreto por entregar, son "camiones con revolvedora".

Estas plantas se conocen como "de mezclado centralizado".

- **Las capacidades de dosificación o de dosificación y mezclado, son variables, dependiendo del propósito del diseño de "las plantas".**
- Generalmente varían, en volumen desde un metro a siete metros cúbicos, y en velocidad de producción, desde 15 a 120 m³/hora.**

Esas son las velocidades de producción mas comunes En casos especiales como son los colados de cortinas de presas o pavimentos de carreteras, se utilizan plantas de capacidades mayores

Por la forma en que se desplazan, se conocen tres tipos básicos:

1. Móviles
2. Semifijas
3. Fijas

No obstante la clasificación, a las fijas se les puede dar una relativa movilidad y las móviles pueden utilizarse como fijas; dependiendo principalmente del tipo de obras a que se asignen.

Por la forma en que miden los materiales:

1. Por volumen
2. Por peso

Existen diversas especificaciones o normas de producción de concreto hidráulico que marcan los requisitos que tienen que cumplir las plantas productoras de concreto hidráulico. Ahi generalmente se incluyen:

- Tolerancias aplicables a la cantidad de los materiales que dosifican
- Características especiales de operación
- Características de uniformidad de las mezclas de concreto

Ahora es importante destacar que, las plantas con que se dosifica el concreto tienen como funciones principales, respondiendo a los "*proporcionamientos de las mezclas*", "*dosificar*" los materiales para cubrir los volúmenes requeridos y lograr homogeneidad razonable en la producción (por la estabilidad de su funcionamiento).

Para esto, las mejores condiciones de operación se obtienen, de las plantas con las que se dosifican los materiales pesando las cantidades indicadas en los proporcionamientos.

La mayoría de las especificaciones de producción de concreto hidráulico piden que:

1. El cemento y los agregados se dosifiquen por peso y en básculas separadas (de cualquier otro material)
2. El agua y los aditivos se dosifiquen pesándolos, o midiendo su volumen con medidores de algún tipo, o en recipientes aforados.

DE LAS TOLERANCIAS EN LA DOSIFICACIÓN POR PESO

Material	Tolerancia en la dosificación
Agua	\pm (mas o menos) 1%
Cemento	\pm 1%
Agregados	\pm 2% en pesos individuales \pm 1% en pesos acumulativos
Aditivos	\pm 3%

Las especificaciones de uso más generalizado, marcan tolerancias semejantes, para la "*dosificación por peso*" de los materiales:

En normas mexicanas que marcan esas tolerancias, también se especifica que el volumen debe entregarse con una tolerancia de $\pm 1\%$; medida esta con el procedimiento normalizado para la determinación de Peso Volumétrico y Rendimiento del Concreto Fresco.

Ahora, un ejemplo de como puede variar el volumen de una producción bien ejecutada (*dentro de tolerancias*) y el incumplimiento de las especificaciones que puede generarse cuando dentro de una misma norma se incluyen especificaciones que no son congruentes. Para esto empleo una dosificación típica "exacta", ejecutada pesando los agregados "con tolerancia de menos 2%" (pesos individuales)

Materiales	Peso SSS kg	Densidad	Volumen l	Peso SSS kg (Ag. -2%)	Volumen
Cemento	250	3.11	80.38	250	80.38
Agua	200	1.00	200.00	200.00	200.00
Grava	970	2.40	404.16	950.60	396.08
Arena	685	2.32	295.25	671.3	289.39
Aire			20.00		19.32
Concreto			999.79		985.37

Al pesar los agregados en el límite de la tolerancia en peso, quedamos fuera de la especificada para la determinación del volumen. Tolerancia contra tolerancia.

DE LOS SISTEMAS DE PESAJE EN LOS DOSIFICADORES

Los dosificadores existentes están equipados con alguno de los sistemas de medición que a continuación se citan, o con combinaciones de ellos:

- Básculas de contrapeso en palanca
- Básculas con palancas e indicadores de carátula
- Básculas con celdas eléctricas para registro de carga directa o acopladas a palancas y equipadas con indicadores "digitales" y /o "computarizados"

DE LA CALIBRACIÓN DE LOS DOSIFICADORES

La verificación, calibración o recalibración de las básculas de los dosificadores, comúnmente se hace empleando "taras verificadas" de 20 kg, que según norma, tienen una tolerancia de ± 10 gramos y poniendo como requisito de ley, que existan cuando menos 500 kg de taras en el local donde se pesan cantidades mayores, como es el caso normal de las plantas de concreto.

Esto, comúnmente es insuficiente para los requerimientos de calibración de las plantas de concreto, por lo que tienen que ajustarse utilizando métodos alternativos, complementando pesos con materiales, o con dispositivos de calibración como en las máquinas de prueba, ejecutando algunas modificaciones en las estructuras de los dosificadores para apoyar los calibradores y transmitir cargas.

En los dosificadores de materiales para concreto, no solamente es necesario conocer o ajustar los dispositivos de medición a la exactitud requerida, empleando "cargas estáticas", sino que también es necesario "calibrar la velocidad de operación de los mandos y dispositivos de control del flujo de los materiales a las básculas, no importando que se operen manualmente o estén completamente automatizados.

La velocidad de respuesta de los controles es fundamental para lograr que el peso de las dosificaciones se ajuste a las tolerancias, sobre todo cuando las plantas están automatizadas. Las respuestas demasiado rápidas o demasiado lentas, pueden causar dificultades de operación, al cortar el flujo de

materiales buscando el blanco designado cerca del límite y ajustarse a el en casos de déficit: o permitiendo flujo excesivo. Esto puede alterar las condiciones de diseño de las mezclas.

OBSERVACIONES

DE LA VERIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE DOSIFICADORES

Para ampliar lo que mencioné sobre el mantenimiento del equipo y su calibración, como segundo anexo doy una lista de verificación aplicable a los dosificadores, modificada en términos pero no en fondo y forma de la original elaborada por el Ing. Luis Sierra Campuzano, asesor de la Dirección del Grupo Bal de empresas productoras de concreto (tres páginas)

DE LA CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MAQUINAS DE PRUEBA

Como se mencionó anteriormente, de las exigencias de exactitud que se establecen en diversas especificaciones para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto hidráulico, aquí presento los comentarios generales, de lo que será presentado en transparencias y acetatos, como introducción a la practica de calibración que se desarrollará en el Laboratorio de la AMICPAC:

En nuestro país, se cuenta con:

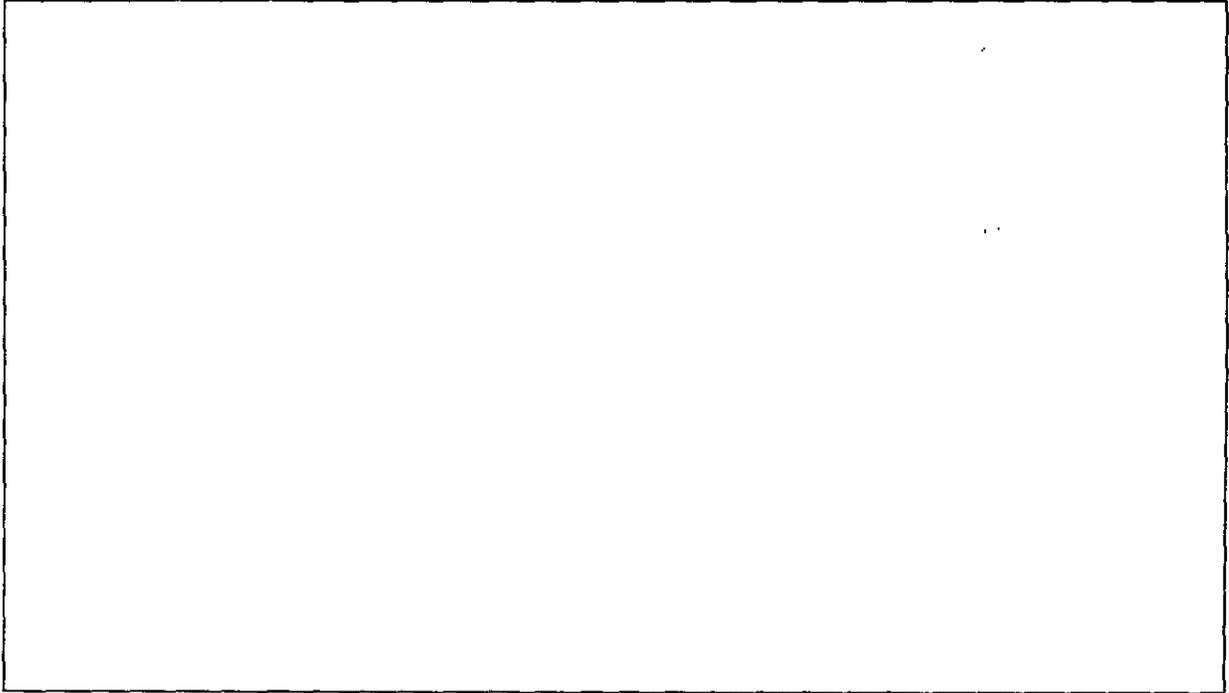
- Un número reducido de máquinas de prueba que tienen todas las facilidades de operación para cubrir exactitudes superiores a las requeridas, siguiendo las velocidades estándar de aplicación de carga.
- Un numero mayor de máquinas que carecen de algunas facilidades pero adecuadas para cubrir todos los rangos de carga requeridos para la prueba de especímenes cilíndricos, con escalas y aditamentos que cumplen con lo especificado para ensayar en condiciones estándar y tolerancias de $\pm 1\%$.
- Un gran número de máquinas de tipo portátil, en las que simplemente por el tamaño de las divisiones de sus carátulas, no pueden cubrir las exigencias de normas que estipulan tolerancias de $\pm 1\%$, y definen un rango de operación por encima de un número de divisiones en la escala graduada de los indicadores. Esto, además de que no cuentan con los "aditamentos" necesarios para ejecutar pruebas de materiales auxiliares para la determinación de la calidad del concreto o de comprobación en caso de duda.

Esas máquinas portátiles, trabajan con bombas hidráulicas de operación intermitente que dificultan el cumplimiento estricto de una velocidad de aplicación de carga; sin embargo, bien operadas, pueden aportar valores útiles para los juicios de calidad del concreto hidráulico (explicaciones durante la práctica de calibración).

Aquí y por el limite del tiempo asignado para analizar este tema, concluyo esta introducción al extenso tema de la calibración y del mantenimiento de equipos de prueba y de producción, que en cualquier industria debe tratarse de manera constante, para intentar conseguir constancia en **"las buenas condiciones de producción, que permitan constancia en la calidad"**.

NOTA: En los equipos de producción, generalmente existe un buen número de dispositivos de medición que no intervienen directamente en la medida de los valores de los materiales dosificados, pero que sirven como indicadores de funcionamiento adecuado de algunos mecanismos de las plantas dosificadoras. Estos, de los que formalmente que no se requiere que estén calibrados, si se requiere de asegurar su buen funcionamiento, que puede comprobarse de manera sencilla, como es el caso de los medidores de presión de líneas hidráulicas o neumáticas (comentario durante la práctica de calibración de máquinas de prueba)

JDR 2000



JOURNAL OF THE AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

TABLE 1—SUMMARY OF COMPRESSION STRENGTH TEST VARIABLES

No.	Basic cause	Cause of variation	Probable occurrence	Effect
1	Cement, material	Type and composition	With different brands	Considerable variation
2	Cement, material	Manufacturing control	Any one brand	Can be considerable
3	Cement, material	Age and condition	Always possible	Considerable variation
4	Water	Presence of salts	Infrequent	Not generally great
5	Water	Water-cement ratio	Dependent on control	Major effect
6	Sand, material	Chemically reactive	Common minor fault	Can be considerable
7	Sand, material	Unsound particles	Infrequent	Not general
8	Sand, material	Nonuniform properties	Infrequent	Not general
9	Sand, material	Clean	Common minor fault	Not generally great
10	Sand, material	Particle shape	Crusher and natural	Not within one type
11	Sand, material	Grading	Always present	Through workability
12	Stone, material	Chemically reactive	Uncommon	Not appreciable
13	Stone, material	Unsound particles	Dependent on source	Not generally great
14	Stone, material	Nonuniform properties	With porous material	Not generally experienced
15	Stone, material	Clean	Always possible	Can be considerable
16	Stone, material	Particle shape	Crusher and natural	Not within one type
17	Stone, material	Grading	Always present	Through workability
18	Stone, material	Maximum size	With different mixes	Through workability
19	Temperature	Cement	Hot cement	Not appreciable
20	Temperature	Water	Extremes of climate	Not generally experienced
21	Temperature	Aggregates	Extremes of climate	Not generally experienced
22	Mix	Paste-aggregate change	Deliberate variations	Through workability
23	Cement batching	Errors in weighing	Infrequent	Inconsiderable
24	Cement batching	Volumetric measurement	Frequent	Errors = 20 percent
25	Water measurement	Directly added water	Where rely on judgment	Not if measured
26	Water measurement	Contained with sand	Most common	Considerable
27	Water measurement	Sand bulking	Volumetric measurement	Can be considerable
28	Water measurement	With coarse aggregate	Over period	Can be considerable
29	Sand measurement	Material changes, bulking	Volumetric measurement	Errors = 20 percent
30	Stone measurement	Material changes, operation	Where control limited	Not generally great
31	Mixing	Order of charging	Dependent on operator	Generally unimportant
32	Mixing	Priming mix	Occasional only	Can be considerable
33	Mixing	Mixer speed	With different plants	Not general
34	Mixing	Overcharging	Infrequent	Not general
35	Mixing	Time of mixing	Frequent	Variation can exceed 30 percent
36	Handling, sampling	Segregation	Chutes, transportation	Planes of weakness
37	Handling, sampling	Constituent changes	Wherever retemper	Impossible to estimate
38	Handling, sampling	Sampling	Different locations	Can be appreciable
39	Handling, sampling	Bleeding	Mixes with water loss	Not generally great
40	Compaction	Hand tamping	Drier mixes	Considerable, exceed 50 percent
41	Compaction	Vibration	Over vibration	Segregation in specimens
42	Compaction	Shock	Handling after setting	Damage creates weakness
43	Compaction	Particle orientation	Planes of weakness	Flat particles—40 percent
44	Size and shape	Wet screening	Mass concrete	Increase with screening
45	Size and shape	Size of specimen	Nonstandard molds	Decrease strength with size
46	Size and shape	Height-diameter ratio	Nonstandard molds	Decrease as ratio increases
47	Size and shape	Shape	Cube or cylinder	Cube strength greater
48	Size and shape	Mold irregularities	Nonstandard molds	Nonaxial load
49	Curing	Drying out	First 24 hours	Not great
50	Curing	Moist curing	Not job curing	75 percent increase in 10 days
51	Curing	Initial temperature	Freezing conditions	Infrequent
52	Curing	Temperature	Job curing in winter	60 percent variation possible
53	Curing	Age	Compare at same age	Continuous increase
54	Curing	Moisture content	When specimens dry	40 percent difference
55	Capping	Plane ends	Most common fault	Convexity 30 percent, Concavity 50 percent
56	Capping	Capping material	Cement paste difficulty	Plaster of paris—12 percent
57	Capping	Axis of specimen	Technique problem	Not generally great
58	Testing machine	Bearing block	Dependent on laboratory	Can be considerable
59	Testing machine	Centering	Dependent on laboratory	Can be appreciable
60	Testing machine	Speed of loading	Dependent on laboratory	Not generally great

LABORATORIOS BAL

**LISTA PARA REVISIÓN
"CONDICIONES DE OPERACION DE PLANTA DOSIFICADORAS"**

Identificación de la Planta.:	Fecha:
Fecha:	Responsable:

Sección	A revisar	Forma.	Clave	Observaciones
---------	-----------	--------	-------	---------------

1)	Estructura de la planta			
	Limpieza general	Revisar		
	Pintura	Revisar		
	Estado de elementos estructurales	Revisar		
	Patas de extensión	Revisar		
	Transportador de carga	Probar		
	Canalón	Probar		
	Dispositivos anticontaminación	Probar		

2)	Tolvas de Agregados (barco)			
	Limpieza general	Revisar		
	Pintura	Revisar		
	Tolvas	Revisar		
	Compuertas	Probar		
	Mecanismos de las compuertas	Probar		
	Actuadores de las compuertas	Verificar		
	Vibradores y aereadores	Probar		
	Transportador de banda	Probar		
Dispositivos anticontaminación	Verificar			

3)	Silo de la planta			
	Limpieza general	Revisar		
	Pintura	Revisar		
	Estado de elementos estructurales	Revisar		
	Patas de extensión	Revisar		
	Anclaje	Revisar		
	Registros, entradas y respiraderos	Probar		
	Colector de polvos	Verificar		
	Compuertas	Probar		
	Gusanos	Probar		
Dispositivos anticontaminación	Verificar			

4)	Silo Auxiliar			
	Limpieza general	Revisar		
	Pintura	Revisar		
	Estado de elementos estructurales	Revisar		
	Patas de extensión	Revisar		
	Anclaje	Revisar		
	Registros, entradas y respiraderos	Probar		
	Colector de polvos	Verificar		
	Compuertas	Probar		
	Gusanos	Probar		
Dispositivos anticontaminación	Verificar			

LABORATORIOS BAL

**LISTA PARA REVISIÓN
"CONDICIONES DE OPERACION DE PLANTA DOSIFICADORAS"**

Identificación de la Planta.:	Fecha:
Fecha:	Responsable:

Sección	A revisar	Forma.	Clave	Observaciones
---------	-----------	--------	-------	---------------

5)	Transportador radial			
	Limpieza General	Revisar		
	Pintura	Revisar		
	Estado de elementos estructurales	Revisar		
	Tolva y Compuerta	Probar		
	Transportador de banda	Probar		
	Mecanismo radial	Probar		

6)	Básculas			
	Limpieza general	Revisar		
	Estado general	Revisar		
	Palancaje	Probar		
	Tirantes para maniobras	Revisar		
	Nudo, poleas, cuchillas	Probar		
	Celdas de carga	Probar		
	Carátulas	Evaluar		
Consola	Evaluar			

7)	Tanque de agua o cisterna			
	Limpieza general	Revisar		
	Pintura	Revisar		
	Limpieza interior y de filtros	Revisar		
	Conexiones	Revisar		

8)	Generadora			
	Estado general	Revisar		
	Motor de combustión	Verificar		
	Generador	Verificar		
	Gobernador	Evaluar		
	Regulador	Evaluar		

9)	Sistema eléctrico			
	Conexión a línea y tableros	Revisar		
	Contactos (switches)	Probar		
	Termomagnéticos	Verificar		
	Motores	Verificar		
	Instalación general (arnes)	Probar		

10)	Sistema hidráulico (aceite)			
	Tanques	Revisar		
	Bombas	Probar		
	Motores	Probar		
	Conexiones	Probar		

LABORATORIOS BAL

**LISTA PARA REVISIÓN
"CONDICIONES DE OPERACION DE PLANTA DOSIFICADORAS"**

Identificación de la Planta.:	Fecha:
Fecha:	Responsable:

Sección	A revisar	Forma.	Clave	Observaciones
---------	-----------	--------	-------	---------------

11)	Sistema de agua			
	Bomba	Verificar		
	Cuentalitros	Evaluar		
	Bascula	Evaluar		
	Conexiones	Verificar		
	Filtros	Verificar		

12)	Sistema neumático			
	Compresora			
	Válvulas			
	Unidad FLR			
	Cilindros			
	Conexiones			

13)	Trenes motrices			
	Reductores			
	Catarinas y cadenas			
	Poleas y bandas			
	Chumaceras			
	Poleas de Transportadores			
	Cabezales de transportadores			

Observaciones adicionales.				

Forma	Clave
Revisar: Inspección física, incluyendo lubricación	01: Satisfactorio
Probar: Prueba en vacío	02: Dar mantenimiento
Verificar: Prueba a plena carga	03: Reparación menor
Evaluar: Prueba a plena carga midiendo resultados	04: Reparación mayor

Verifica:	Recibe Reporte:
-----------	-----------------



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

PRODUCCIÓN ECOLÓGICA DE CONCRETO PREMEZCLADO

PRÁCTICAS, ALTERNATIVAS Y DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES

**CONFERENCISTAS
ING. LIDIA ÁLVAREZ MINCE
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

**PRODUCCIÓN ECOLÓGICA DE CONCRETO
PREMEZCLADO**

PRACTICAS , ALTERNATIVAS Y DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES

ING. LIDIA ALVAREZ MINCE *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D F. Tel. 521-4020 al 25, 521-7335 Fax 410-0573 y 512-5121, internet: jgomez @ tolsa.mineria.unam.mx

Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd Adolfo López Mateos, No. 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F. Tel y fax : 272-8981, 272-9011, y 515-3154. email: amicpac @ netmet.com

*** Asistente de la Gerencia de Investigación y Desarrollo de Concretos Cruz Azul**

PRODUCCIÓN ECOLÓGICA DE CONCRETO PREMEZCLADO

1. Introducción :

Como resultado del desarrollo tecnológico, hoy, el planeta sufre de un deterioro ambiental ocasionado por la contaminación debida a la industrialización.

La salud para el ser humano es un derecho constitucional, además de ser un medio para la conservación de la vida, la salud es el reflejo de la interrelación hombre-naturaleza y si esta se ve afectada presentando un deterioro será directamente consecuencia de las condiciones del medio ambiente que la rodea.

Es preponderante tratar de prevenir y minimizar la contaminación ambiental, con el fin de conservar la ecología mediante el uso de técnicas y metodología que reduzcan los factores que afectan el medio ambiente en la ejecución de cualquier actividad además de restaurar los sitios dañados por la acción humana.

Por tal motivo las autoridades han implementado leyes, reglamentos y normas en materia ecológica como medidas de prevención y de control de la contaminación, llegando al punto de la tipificación de delitos ambientales. (modificación de la LEGEEPA de Dic-1996 y del código penal en materia del fuero común y federal).

JERARQUÍA DE LEYES, REGLAMENTOS Y NORMAS

- | | |
|--|--------------------------|
| 1 - CONSTITUCIÓN MEXICANA | Art 27 y 73 fracc.XXIX-G |
| 2.- LEGEEPA | |
| 3 - LEYES ECOLÓGICAS ESTATALES Y SUS REGLAMENTOS | |
| 4.- NORMAS OFICIALES MEXICANAS | |

La producción, manufactura y fabricación son actividades humanas que afectan o utilizan uno o varios recursos naturales y/o bien emiten desechos

RECURSOS NATURALES

SUELO	LEGEEPA - (Art 7 Fracc. VI Residuos sólidos industriales y Art. 5 Fracc. VI, Residuos peligrosos)
AIRE Atmósfera	LEGEEPA - (Art. 5 Fracc XII nivel federal, Art, 7 Fracc. III, nivel estatal y Art 8 Fracc. III nivel municipal)
Ruido	LEGEEPA - (ART 5 Fracc. XV)
AGUA	Ley de aguas nacionales- (Art 34- cuerpos de agua fedéralas LEGEEPA - (ART 7 Fracc. VIII estatal y ART 8 Fracc VII)
FLORA Y FAUNA	LEGEEPA - (Art . 79)

JERARQUÍA DE LA AUTORIDAD AMBIENTAL

- | |
|---|
| 1 . PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA |
| 2 - CONGRESO DE LA UNIÓN |
| 3.- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE RECURSOS NATURALES Y PESCA |
| 4 - ÓRGANOS ADMINISTRATIVOS DESCONCENTRADOS |

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA)
 INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE)
 PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE (PROFEP)
 INSTITUTO NACIONAL DE PESCA (INP)
 5 - SECRETARÍAS ESTATALES DE ECOLOGÍA
 6 - MUNICIPIOS O DELEGACIONES

2.- Proceso

El principal objetivo de la industria del concreto Premezclado es el de fabricar y suministrar el concreto que se requiere dentro de la industria de la construcción, mediante el uso de recursos naturales, productos manufacturados, fuentes de energía y maquinaria, equipo y herramientas, entre los principales se encuentran, sin mencionar el factor humano los siguientes:

productos manufacturados	recursos naturales	fuentes de energía	equipo
cemento ✓ aditivos ✓ lubricantes	arena y grava ✓ agua ✓ terreno	energía eléctrica combustibles	maquinaria camiones herramientas instalaciones

✓ Principales insumos para la fabricación de concreto:

Durante el proceso de producción se emiten contaminantes que afectan a.

Aire	Agua	Suelo
Emisiones de partículas sólidas Emisiones directas e indirectas de la combustión Ruido	Agua residual	Cascajo Lodos Desechos inorgánicos y orgánicos Vibraciones
Subsuelo		
Infiltraciones		

Además se utilizan sustancias peligrosas como son los lubricantes, diesel, gasolina, solventes, aditivos, ácidos, etc

El proceso de fabricación	Actividades relacionadas
Carga Descarga Mezclado Transporte	Operaciones de abastecimiento Actividades de Control de calidad Actividades administrativas Operaciones de mantenimiento

3.- Materia Prima

Durante cada etapa de la producción, la materia prima es manipulada con el objeto de integrarse correctamente y formar la masa de concreto. Todos los insumos en las primeras etapas del proceso se manejan por separado.

Manejo de cemento

El cemento es un material sólido que se presenta en estado de polvo con una finesa parecida a la del talco por lo que su manejo es delicado, con este insumo se contamina a la atmósfera y el aire que se respira, aunque por su peso no viaja y se precipita muy cerca del lugar de emisión

La emisión del polvo de cemento se presenta principalmente a través de los respiraderos de los silos durante la descarga del cemento al silo, otros puntos donde se puede presentar fugas como son los puntos de conexión entre el silo y la tolva esto por mal acoplamiento, las tapas de registro de los silos y sinfines por deterioro de los sellos o rotura de pernos y no debemos descartar un posible estallamiento del silo por fatiga

Manejo de agregados:

Los agregados cuya utilización esta más generalizada son los de origen pétreo los cuales son el resultado de la extracción mediante algún proceso o naturalmente de un banco o macizo rocoso, por esta razón y debido a las características del material, producen partículas por desprendimiento y arrastre eólico o mecánico, al igual que el cemento por el peso que tienen se precipitan cerca de la fuente de emisión, la cual puede ser originada durante su almacenamiento, carga, transporte y descarga

El manejo de los agregados por su dureza produce emisión de ruido al golpear las superficies metálicas y durante la operación del equipo de carga (Traxcavo o cargador frontal)

Manejo de agua

El agua es un recurso natural el cual se encuentra en estado líquido y es utilizada como materia prima para la fabricación de concreto y debe de cumplir con la calidad que estipula la NMX-C-122

Se requiere también agua en las actividades de limpieza requeridas para mantener los equipos en buen funcionamiento, esta agua tiene un alto índice de ph y partículas sólidas debidas al cemento y los agregados pétreos, adicionándole si se utilizan ácidos para desincrustar la pasta de cemento que se va formando y grasas y solventes

Manejo de aditivos

Los aditivos son sustancias o materiales que se adicionan al concreto para darle alguna característica especial y que se presentan en estado solio (polvo, fibras, esferas, etc) y líquido o en gelatina o espuma.

Cuando se trata de un polvo puede existir contaminación por emisión a la atmósfera, en caso de fibras u otros tipos, si no existe cuidado al dosificar se genera residuos sólidos, para los aditivos en estado líquido, si se llegan a presentar fugas o derrames, se contamina el suelo y el subsuelo, llegando al nivel freático, El sitio de almacén debe de estar protegido, para evitar roturas en sacos, o fugas.

4.- Proceso

Operación de Abastecimiento

Aprovisionamiento: Entrada de los materiales a almacén, la contaminación se produce por residuos sólidos, emisiones de polvo o fugas, ruido y emisiones de gases de la combustión de automotores.

Abastecimiento de tolvas y básculas y transporte de los insumos de estas a la boquilla de carga del camión, emitiendo polvo y residuos sólidos.

Operación de carga

En esta etapa es donde se cargan los materiales al interior del camión revolvedor, después de que estos han sido dosificados, pesados, es el punto más apreciable de emisión de partículas debido al ahogamiento que se presenta al introducirlos por la boca del trompo, ya sea por un mal acoplamiento de la boca del trompo y la

boquilla de descarga, bloqueos o interferencias del material velocidad inadecuada de la banda entre otros. Desperdicio del material por desbordamientos por el volumen real del camión, o al incluir aditivos y emisión de ruido

Operación de mezclado

En este punto la contaminación se presenta por la emisión a la atmósfera de los gases producto de la combustión de los motores de las tractocamión es la generación de ruido por el incremento de las revoluciones del motor para alcanzar la velocidad de mezclado y el roce del material pétreo con las superficies metálicas del camión. Se puede presentar desbordamiento del material por capacidad real de la olla en la operación de transporte

Se genera ruido por las zonas que se circula por exceso de revolución del motor del camión revolvedor y eventualmente se pueden tener derrames al pasar por topes, o pendientes pronunciadas y dar virajes cerrados, si no se ha respetado la capacidad de la olla.

Actividades de mantenimiento

Limpieza de unidades revolvedoras. uso de desincrustante como puede ser ácido sulfúrico o detergentes.

Mantenimiento preventivo y correctivo de la maquinaria y equipo de transporte con cambio de lubricantes y filtros, neumáticos, baterías, remplazo de partes, rectificaciones y pintura. De todas estas el cambio de lubricantes y la pintura del equipo representan el manejo de sustancias peligrosas como son los aceites y solventes requeridos. El uso de la baterías y su contenido de ácido sulfúrico

Actividades de control de calidad

Mediante pruebas destructivas de probetas elaboradas con concreto se verifica la calidad del producto, desechándose residuos sólidos (cascajo), mortero de azufre quemado, vapores y gases a la atmósfera del resultado de la fundición del mortero de azufre. Uso de agua para el curado de los especímenes

Actividades Administrativas

Son actividades que van de la mano conjuntamente con las actividades de producción, como es el control de la información que se genera, archivo, control de pedidos y almacenes, etc. para lo cual se consume energía y se generan residuos sólidos (basura), además de aguas residuales de los servicios sanitarios.

PRACTICAS , ALTERNATIVAS Y DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES

Existen una amplia gama de soluciones para mitigar, reducir, controlar o eliminar la generación de contaminantes , la elección del método o debe de acrece cuantificando duración, benefició, costo, alcance y resultados, buscando principalmente que la solución sea total y no parcial y no se produzcan mayores volúmenes de contaminantes, minimizando estos.



fig 1 JERARQUÍA DE MANEJO DE DESECHOS Y CONTAMINANTES

En la figura 1 se ilustra en orden de importancia de las practicas y el manejo de los contaminantes, mientras menos escalemos en la pirámide y nuestras actividades se concentre en la base nos acercaremos a la meta de no deteriorar el medio ambiente

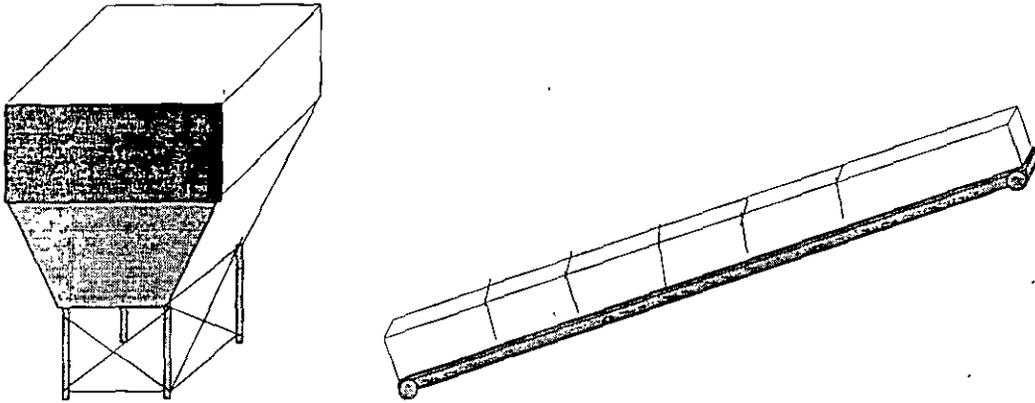
- 1 La no generación de contaminantes
2. La reducción de los contaminantes
- 3 El reciclaje de los residuos
4. El tratamiento de los residuos
- 5 Disposición final de los residuos o contaminantes.

Manejo de materia prima

Agregados

El manejo de los agregados se inicia con la recepción y descarga seguido de la homogeneización en el patio de almacén , después cuando se inicia la producción se carga la tolva y se transporta por banda a la báscula para el pesado, se descarga , y eleva por medio de banda transportadora y se carga a la unidad revolvedora. Con excepción del pesaje, la caída del material y el arrastre de finos por el viento se presenta en todos los pasos

La solución que se ha dado al punto de transporte por banda es el de cubrirlas al igual que a las tolvas colocarles una caseta con un dispositivo o cortina que permite la carga.

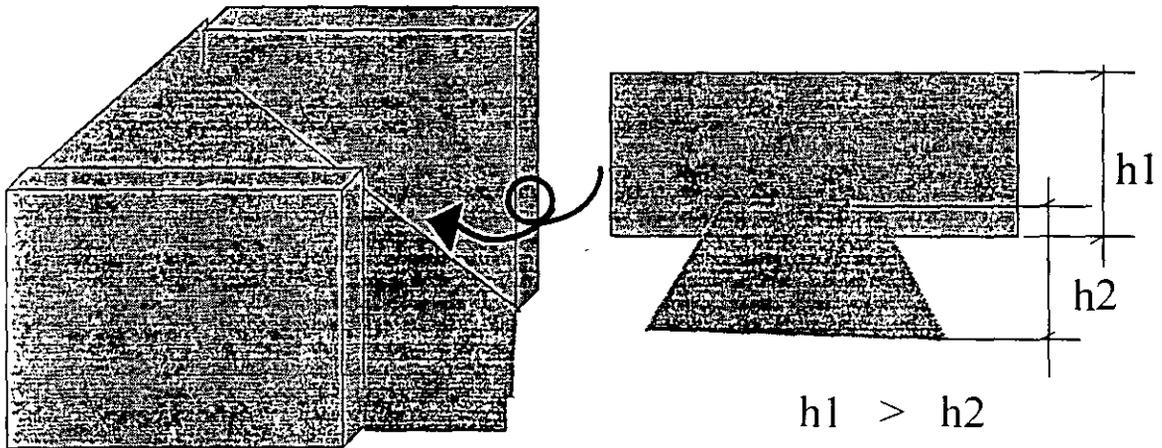


Con estas medidas se protege del viento y se confina el desprendimiento de finos por la velocidad de operación.

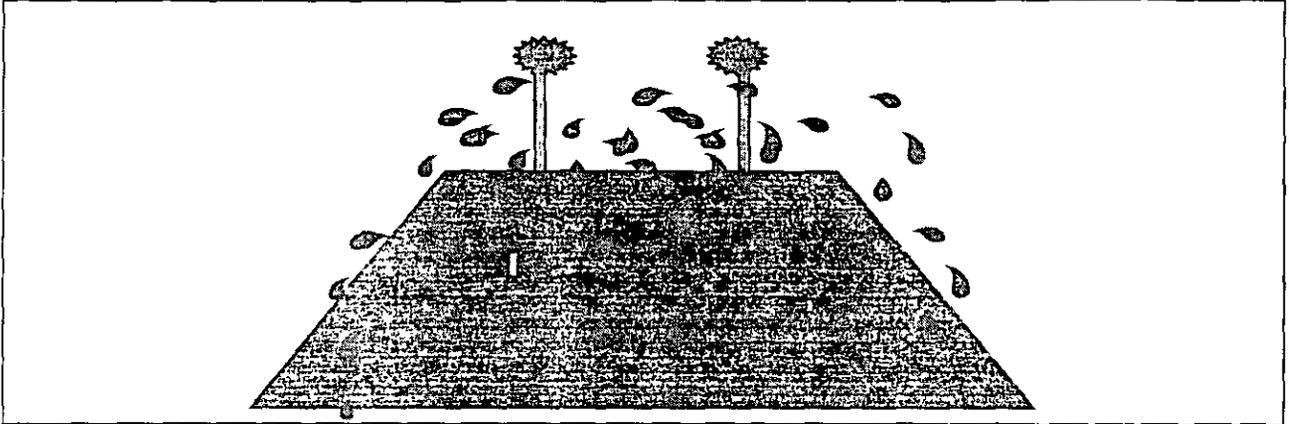
Para mitigar el problema de la emisión de polvo y fino en los patios de almacén a cielo abierto se han establecido las siguientes prácticas:

- Mantener el polvo dentro de las instalaciones
- Mantener el material húmedo para que el viento no pueda arrastarlo

La primera es la práctica más común y se logra debido al peso propio del material y manteniendo la altura de los almacenes a un nivel que no rebase la altura de las bardas y ubicándolos lo más alejado de las colindancias si es que no existe barda limitrofe, o bien almacenados en contenedores especialmente fabricados para esto, en donde el viento solo podrá afectar al material por un solo lado.



Para la segunda se requiere tener un dispositivo especial como pueden ser un emisor de neblinas, un sistema de aspersión o aspersores portátiles o simplemente con chorro de agua.



Manejo de cemento.

El cemento está considerado como un material dañino para la salud, las emisiones de este material a la atmósfera son las más fácilmente apreciables y este es arrastrado por el viento a distancias considerables, si se inhala puede producir silicosis.

La descarga del cemento al silo es la primera etapa del manejo en donde se presenta emisión y ocurre en el acoplamiento con el tubo de alimentación y en el aliviadero del silo.

Es indispensable colocar un filtro en la salida del aliviadero del silo con el fin de retener el polvo de cemento que escapa por este.

Se debe evitar que el filtro sufra presiones elevadas para prevenir una explosión o taponamiento de las tuberías.

- Vigilar la operación de descarga, cuidar que el soplador no opere más del tiempo requerido.
- Instalar sensores que indiquen cuando el cemento ha alcanzado el nivel máximo predeterminado dentro del silo y accionar una alarma cuando se llegue al límite de la presión permitida.
- Adosar un fuelle de alivio de presión para el silo.
- Revisar periódicamente el estado de los filtros (limpieza y mantenimiento).

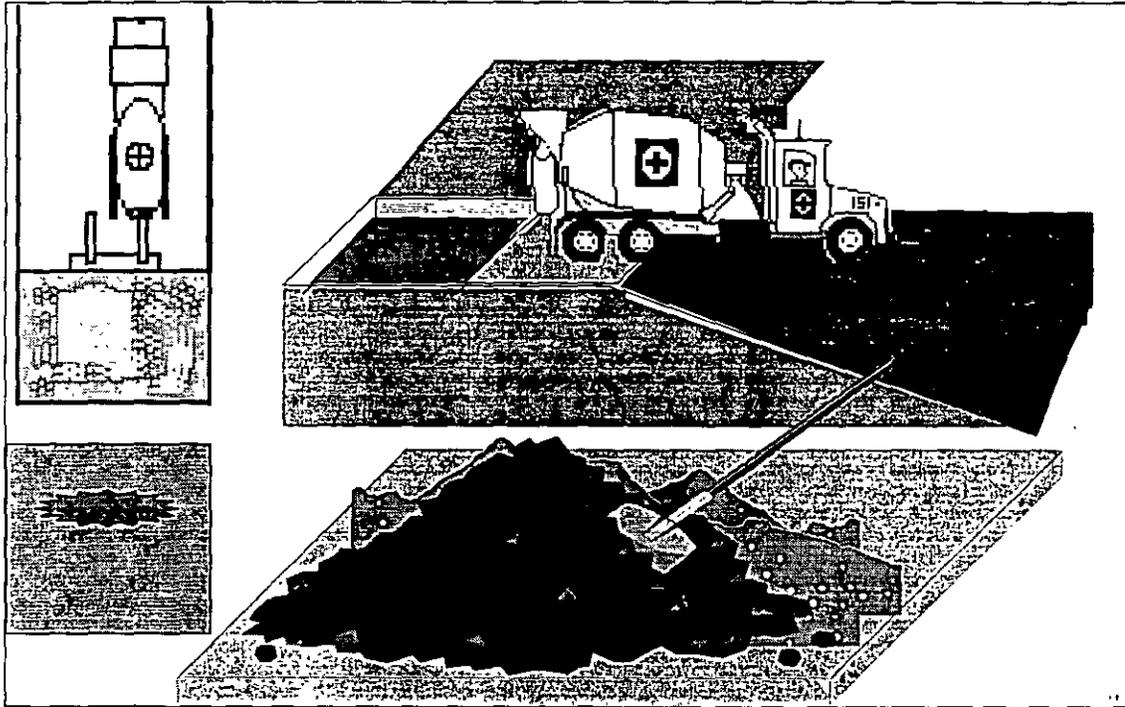
Manejo del agua

La práctica principal para el agua es el reciclado o reuso de esta, ya sea por medio de cisternas o fosas de lavado donde el agua se vacía, la cual funciona por medio de un sistema de vasos comunicantes. El agua libre de materiales sólidos (estos se precipitan al fondo por gravedad) se filtra hasta el último depósito donde se bombea para su uso.

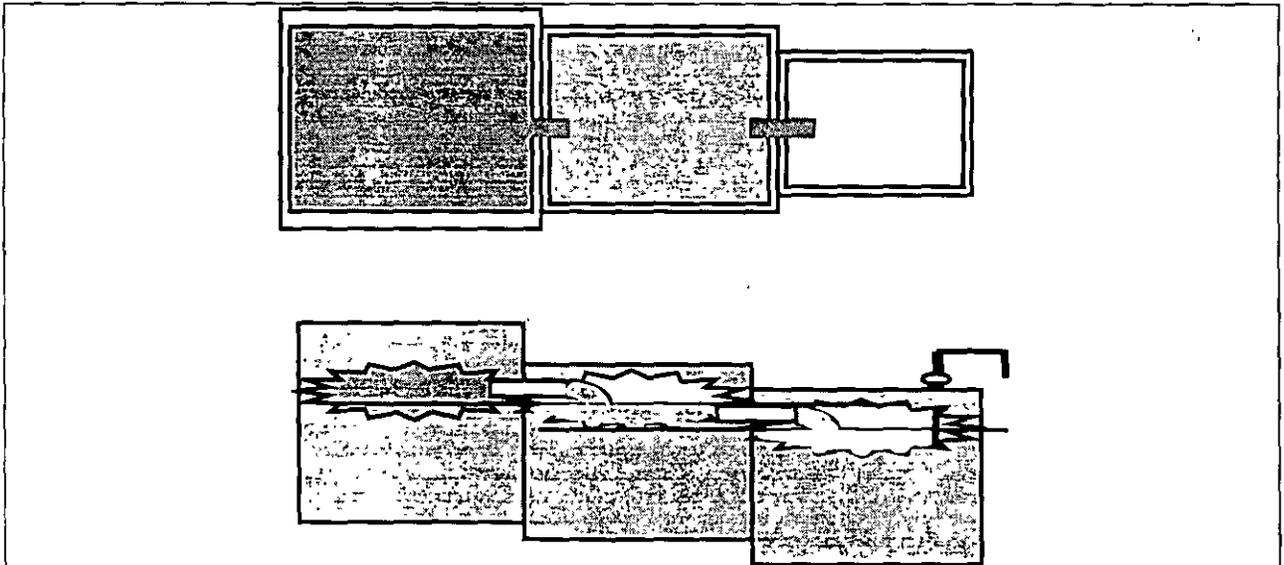
Esta agua se puede utilizar para el lavado de los mismos camiones o puede ser utilizada para la fabricación de concreto.

Esta agua que es altamente alcalina puede ser neutralizada y utilizarse para regar jardines o reciclarse para uso de servicios sanitarios o de limpieza.

Otra forma de reuso es manteniendo el agua de lavado dentro de la unidad y restarla del agua de la siguiente carga de concreto.



Se debe de tener siempre una fosa de lavado la cual sea impermeable y no permita que el agua se infiltre al subsuelos . El material o cascajo que resulte de la limpieza de este tipo de dispositivos se deja secar siempre sobre una superficie pavimentado o impermeable



Un método que actualmente se utiliza en las industria es el uso de aditivos que inhiben el fraguado del cemento , y que evitan que se tenga que lavar la unidad en cada viaje ya que no se endurece este dentro de la unidad permitiendo que todo el material que antes sería de desecho se aproveche en la siguiente carga de concreto.

Manejo de aditivos

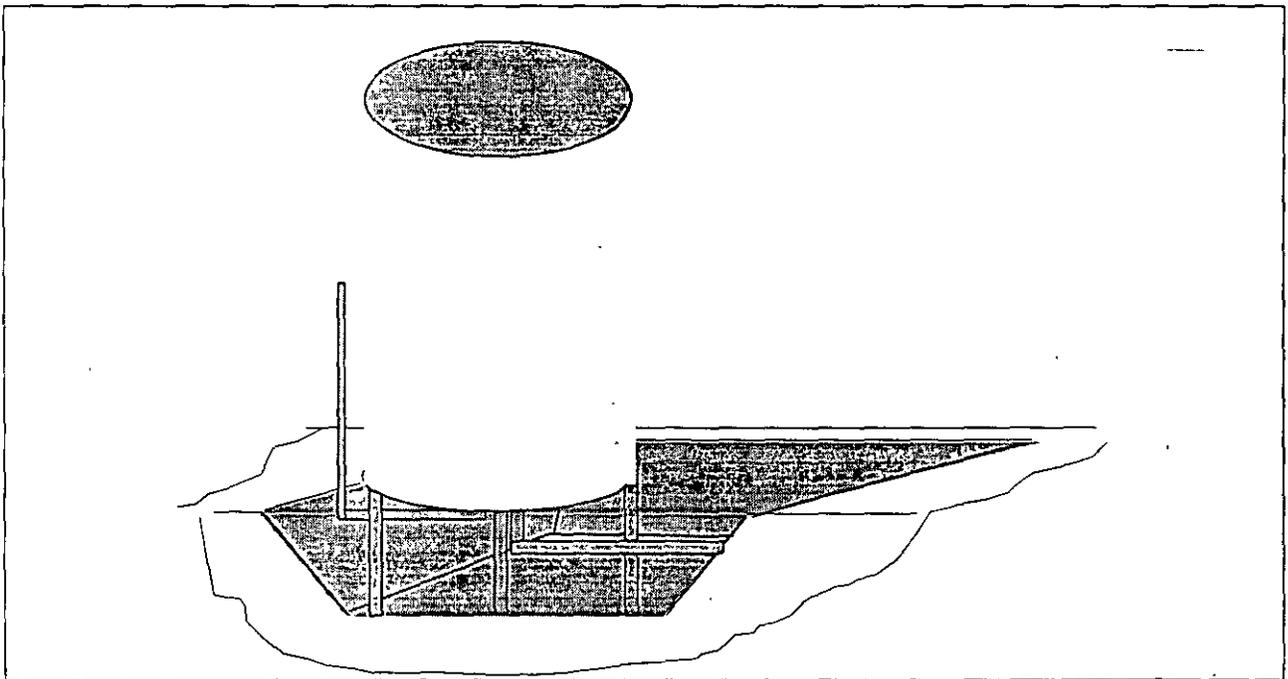
Se debe de verificar que los aditivos o sustancias que se utilizan son inocuas al medio ambiente, biodegradables y no contienen sustancias o materiales peligrosos, en caso contrario se deberá de hacer un manifiesto ante la SEMARNAP y contarse con las instalaciones requeridas para estos casos.

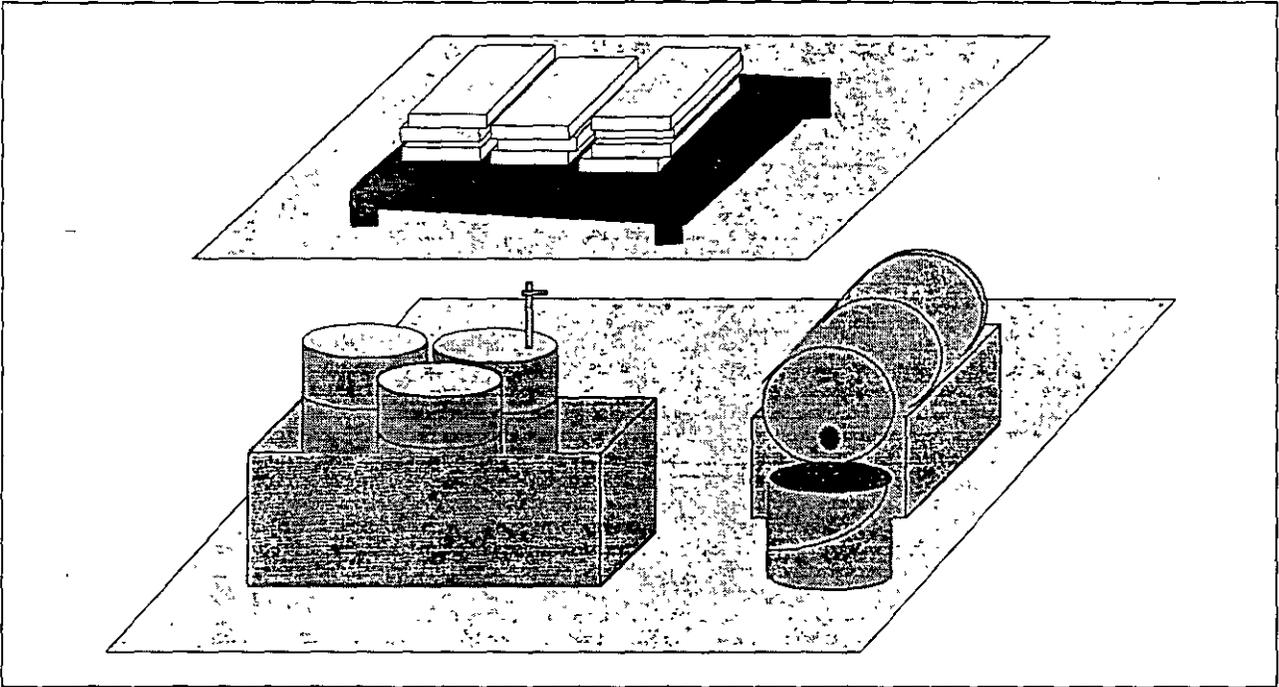
Las prácticas se reducen a la prevención de contingencias como derrames, emisiones y desperdicios o residuos. Se debe de verificar periódicamente el estado en que se encuentran todos los almacenes o depósitos de cada uno de aditivo.

Para los aditivos en estado líquido o gelatinoso, los tanques o depósitos deberán de ser herméticos y tener dispositivos para monitorear el volumen almacenado, las conexiones, válvulas y mangueras deben estar en buenas condiciones, se deberá de contar con una fosa de retención que impida que los líquidos se derramen y se infiltren al subsuelo, para el caso de depósitos menores retornables como son cubetas de 20 litros o tambos de 200 litros, estos deben de almacenarse sin tener contacto directo con el suelo, colocándolos sobre una plancha de concreto u otro tipo de material que impida que si existen derrames estos se infiltren. Además se deben de tener cuidado en el manejo de estos, al vaciarlos para adicionarlos al camión y evitar que no se produzcan derrames al sacarlos de sus depósitos utilizando mecanismos adecuados de succión o bien por medio de fosas de retención.

Las fosas de retención deben de estar recubiertas con algún material que impida que exista filtraciones o fugas y contar con dispositivos de recolección y limpieza. La capacidad de retención deberá de ser cuando mínimo del 100% del volumen del deposito

Para los aditivos en estado sólido o en polvo, su presentación por general es en sacos o bolsas, los cuales se deben de almacenar en lugares que los protejan del clima y viento colocándolos sobre tarimas y estas a su vez sobre superficies de concreto o similares, todo lo anterior para evitar que se produzca contaminación si alguno de los sacos se rompiera. También se debe de cuidar que no se sobrepase de un determinado número de sacos sobrepuestos.





Para la colocación de este tipo de aditivos se recomienda que cuando se hace manual, el personal encargado de esta maniobra utilice equipo de seguridad adecuado y este capacitado para realizar la actividad, y controlar cualquier contingencia.

En estos casos la alternativa es el instalar aditamentos para la introducción mecánica del aditivo al camión como puede ser una rompedora de sacos. Una segunda alternativa es utilizar aditivos envasado en sacos diluibles en agua con lo que la función del operador se reduce a meter el saco en la unidad para que las espas de la olla hagan el resto de la operación

Proceso

ABASTECIMIENTO

Para el abastecimiento de la materia prima, si lo hacemos por medio de terceros es la practica de hacerlos coparticipes en medidas de prevención como sería el caso de los agregados pétreos, no sobrecargar los camiones y cubrir la caja con lonas, para evitar que el material caiga durante el recorrido, mantener los vehículos en buenas condiciones mecánicas y de funcionamiento (afinación , presión de llantas, etc), para minimizar el consumo de energéticos.

Otras alternativas es el que el equipo tengan un diseño aerodinámico en la tracción , sus cajas y que utilicen motores denominados ecológico o bien se haga el cambio de combustible de liquido a gas

CARGA

El punto donde se introducen o cargan todos los materiales al camión para su mezclado es otro de los considerados de mayor incidencia de emisión de contaminantes

Para minimizar y mitigar las emisiones se realizan las siguientes practicas:

- Centrado eficiente de la unidad para 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

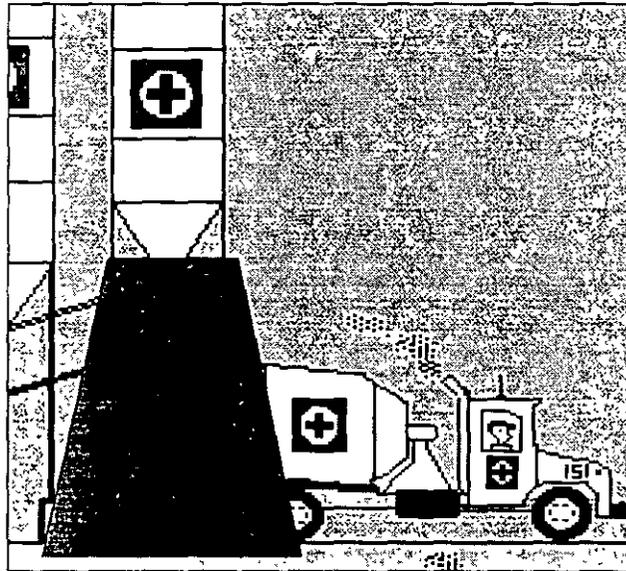
Las siguientes alternativas pueden considerarse para reducir la emisión de polvos durante la carga.

- Manejar húmedos los agregados
- Instalar equipo automatizado de bacheo

Existen dispositivos para el control de los polvos fugitivos como.

- Neblinas húmedas para el depósito de las partículas
- Neblinas secas electrocargadas para el depósito de partículas
- Campanas retráctiles con colectores de polvo

Finalmente tenemos el confinamiento del área para evitar el escape de los polvos y ruido



TRANSPORTE

Esta etapa del proceso es la más crítica ya que la unidad abandona las instalaciones de la planta para circular por la vía pública hasta llegar a su destino

Una de las razones más comunes de molestia de los vecinos son los derrames de concreto sobre vialidades, actualmente para evitar es que se formen las llamadas tecatas que ensucian las calles y que estos con las lluvias se puedan ir a drenajes se recomienda las siguientes practicas:

- Lavar las ollas de forma adecuada para evitar que se generen lastres de piedra en su interior.
- Revisar periódicamente las unidades para eliminar estos empiedramientos
- No sobrepasar su capacidad de operación en el mezclado y transporte.
- Establecer límites de capacidad cuando se valla a circular por pendientes pronunciadas
- Capacitar a los operadores a transitar correctamente por calles y avenidas haciendo alto, respetar la velocidad indicada, no hacer virajes a alta velocidad y pasar despacio los topes

Las alternativas aplicables son:

- Tener una brigada de limpieza que levante estos derrames en cuanto se tenga conocimiento de estos.
- Instalar una compuerta en la boca de la olla para su cierre hermético
- Transportar el concreto con revenimientos bajos.

Para evitar las huellas que dejan las unidades al salir de la planta se instalan lavaderos de llantas a la salida de estas.

Mantenimiento

La utilización de aceites y lubricantes para el mantenimiento de los camiones y maquinaria en general son catalogados por la autoridad ambiental como sustancias peligrosas, por lo que se requiere de un registro y de un sistema de control de estos, que va desde documentar en una bitácora la cantidad de material que entra, su uso, la disposición temporal y final de los desechos.

Los depósitos y almacenes para estos materiales y residuos deben de cumplir con los requerimientos de la autoridad ecológica, como es que no se tengan al aire libre, se coloquen sobre superficies o planchas de concreto, se tenga fosas de retención y dispositivos de recolección adecuados, se haga un manifiesto de residuos peligrosos semestral a la autoridad.

Actualmente el manejo de los residuos y materiales peligrosos los debe de hacer una empresa debidamente registrada por la autoridad, y el lugar donde se va a tratar o reciclar también debe de estar autorizado, por lo que es muy conveniente que se contrate a terceros pero que cuenten con su registro ante la SEMARNAP.

Al igual que el aceite quemado, todo el material que se encuentre impregnado de este no debe de ir a la basura, sino darle el mismo tratamiento (estopas, trapos, filtros, etc.)

En el mantenimiento de camiones y equipo entra la pintura de estos, se debe de tener una instalación especial cubierta o campana extractora para no permitir la emisión de pinturas y solventes a la atmósfera así como un sistema de recolección del agua que no descargue al drenaje.

Todo lo anterior reforzado con la capacitación del personal en el tratamiento y control de derrames o fugas de estas sustancias.

También se recomienda

- Para el lavado de carrocerías o en general sustituir la práctica de uso de ácidos por detergentes biodegradables
- Regresar a nuestros proveedores las llantas, baterías, o tambos y cubetas de desecho

Para el mantenimiento de las instalaciones se debe

- Separar la basura en orgánica e inorgánica como papel, vidrio, plástico, metal, etc.
- Mantener las instalaciones limpias y en orden
- Marcar y señalizar cada área, así como zonas restringidas, accesos y pasos peatonales.

Control de calidad.

Prácticas recomendadas

Establecer controles en la producción de concreto como puede ser la utilización de equipo electrónico para la automatización de las plantas que nos permita tener un mayor control en el proceso de producción y ampliar el rango de muestreo del concreto.

Difundir el uso de los especímenes cilíndricos de concreto ya ensayados como material de construcción.

En lo que se refiere al equipo de prueba como moldes, varillas o básculas darles mantenimiento y manejarlos con cuidado para no tener que remplazarlos muy seguido

Para el tratamiento del azufre de cabeceo optimizar su uso utilizándolo un mayor numero de veces dentro de lo que marca la NMX-C-109, y contar con una campana extractora de gases y vapores de azufre y conducirlos a un deposito con agua para precipitarlos ahí.

Reciclar el agua que se utiliza para curar los especímenes en lo cuartos de curado recirculandola por medio de un cárcamo de bombeo , utilizando rejillas o filtros para evitar que material sólido atrofien las bombas o tape las tuberías. o utilizar equipos de neblina o rocío

En la zona de elaboración de mezclas colocar rejillas y ductos de conducción del agua utilizada en el lavado de los equipo y que esta se incorpore al agua reciclada

Algunas posibles alternativas son

- Emplear especímenes de prueba mas pequeños y de muestra cuando sea posible
- Sustituir el empleo de mortero de azufre por el de oro material menos contaminantes y mas reciclable.
- Cabecear las muestras recién elaborados con pasta de cemento a fin de eliminar el cabeceo posterior
- Desarrollar otros métodos de control de calidad más efectivos y no destructivos

Actividades Administrativas

Es una buena política el que la preocupación por la ecología no se limite a los procesos de producción en planta , sino que se lleve a todas la áreas de la empresa, incluyendo el área administrativa u oficinas

Las practicas recomendadas para esto son:

- No tener encendidos los aparatos eléctricos durante más tiempo del requerido y utilizar focos de bajo consumo eléctrico.
- En donde se tenga iluminación natural, no utilizar luz artificial hasta no ser necesaria
- No desperdiciar papel y reciclar el ya utilizado
- No desperdiciar el agua y usar productos biodegradables.
- No tirar la basura ni ningún tipo de sustancia o material al drenaje
- Depositar la basura en los sitios asignados y mantenerlos cubiertos

Normativa y reglamentación actual:

Con el cambio en la LEGEPA la industria premezcladora paso de ser de injerencia federal a municipal, en el caso del D.F. es necesario que se inscriban o den de alta como fuente fija

También se implementa la licencia única de funcionamiento para la cual si se tiene licencia de funcionamiento mediante una auditoria ambiental se tramita

Normas ecológicas aplicables o de referencia para la industria del concreto Premezclado

La industria actualmente no cuenta con un norma particular que regule y marque parámetros para la emisión de contaminantes, al suelo , agua o aire y se regula por las normas generales las cuales son en materia de.

Suelo - NOM-052-ECOL/93 Y NOM-055-ECOL/93

Agua - NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996, NOM-031-ECOL/93

Aire - NOM-035-ECOL/93, NOM -043-ECOL-1993

Ruido - NOM-081-ECOL/1993

Métodos de prueba

NMX-AA-003-1980	Aguas residuales - Muestreo
NMX-ECOL-004-1996	Agua - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales
NMX-AA-005-1979	Agua - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción
NMX-AA-006-1973	Agua - Determinación de materia flotante - Método visual con malla
NMX-AA-007-1980	Agua - Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro
NMX-AA-008-1980	Agua - Determinación de PH - Método potenciométrico

Listado del equipamiento mínimo con que debe contar una planta de concreto Premezclado.

Equipamiento planta dosificadora:

Cubrebandas en bandas transportadora
Tolvas de carga o descarga con paredes laterales, techo y hawaianas
Sistema de filtro en cabezas de silos de cemento
Cubierta en zona de carga de camiones revolvedores

Instalaciones:

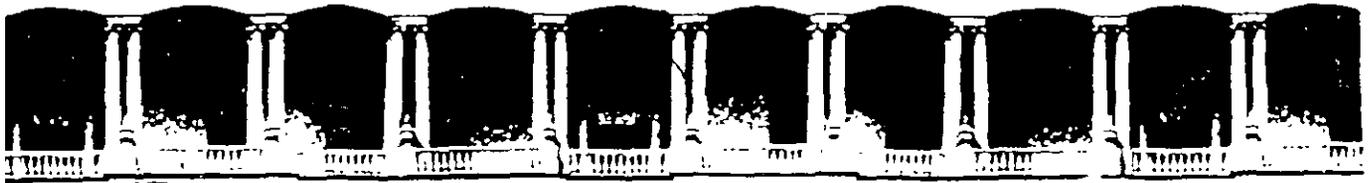
Servicios sanitarios higiénicos
Fosa de lavado de camiones impermeable (c/bomba)
Barda o cerca perimetral
100 m² de área verde como mínimo
Fosa de retención para el diesel
Contenedores para aditivos
Contenedores para residuos peligrosos
Almacén de insumos
Área impermeable para escombros de concreto
Mitigar emisión de polvos en bancos de agregados . mamparas, lonas, humidificación o similar
Caseta o cubierta para compresora y/o generadora de energía

Pavimentación

Zona de carga de camiones
Banquetas dentro de planta
Áreas de servicio: oficinas, bodega, talleres, etc

Opcionales

Fosa de lavado, con decantadores
Humidificación de agregados con sistema de aspersión
Drenaje de servicios domésticos cocina, comedor, baños , etc.
Pavimentación de accesos y áreas de tránsito vehicular.
Superficie total pavimentada, con drenaje pluvial y con áreas de recarga del acuífero
Zona de carga de camiones con colector central de polvos
Fosa de lavado con decantadores y sistema de reutilización de agua.



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

**CONSIDERACIONES ESPECIALES EN LA PRÁCTICA DE LA
CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**CONFERENCISTA
ING. LUIS GARCÍA CHOWELL
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

CONSIDERACIONES ESPECIALES EN LA PRÁCTICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

ING. LUIS GARCIA CHOWEL *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D.F. Tel. 521-4020 al 25, 521-7335 Fax: 410-0573 y 512-5121, internet: fgarza @ tolsa.mineria.unam.mx
Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd. Adolfo López Mateos, No. 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F.
Tel y fax: 272-8981, 272-9011, y 515-3154, email: amicpac @ netmet.com

* Gerente Técnico de CARSA

CONSIDERACIONES ESPECIALES EN LA PRÁCTICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

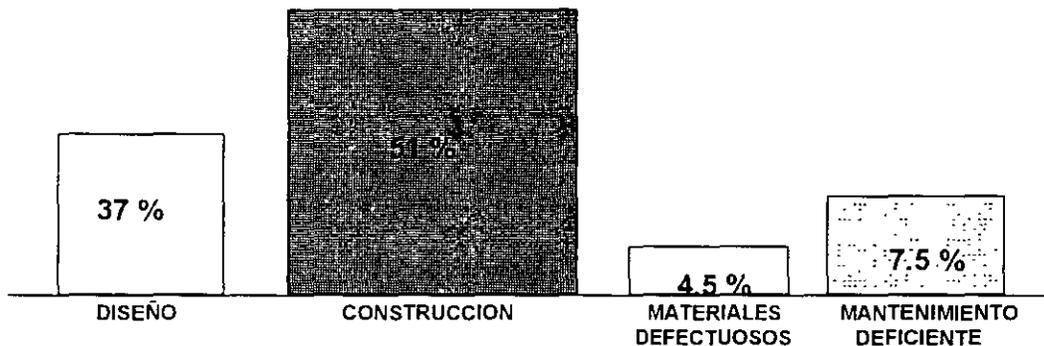
Para que una estructura de concreto endurecido llegue al final de su vida útil, es necesario cumplir determinados requisitos para obtener un concreto de calidad uniforme.

Estos requisitos están resumidos en la figura número 1 en la cual los tres vértices del triángulo indican que el concreto debe diseñarse no únicamente para satisfacer las exigencias de resistencia estructural o mecánica sino que el concreto debe ser también Durable y Económico para tener un producto sano y robusto pero que requiere atenciones después de su concepción y de acuerdo a su edad, para que conserve esa calidad para siempre.

Desafortunadamente, con la expansión de la construcción en volúmenes y zonas del planeta, lo anterior no siempre se logra y en muchas estructuras se tienen defectos que afectan la vida útil de las estructuras y han puesto en entredicho la percepción que se tiene de que el concreto tiene vida casi infinita.

Estudiando los defectos y analizando sus causas, se obtuvo como resumen la gráfica siguiente.

CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LAS ESTRUCTURAS



Según Paterson

REQUISITOS PARA ANTES DEL VACIADO DEL CONCRETO

- Familiarizarse con los planos de la obra y confrontarlos con las Especificaciones y Reglamentos de Construcción.
- Conocer el terreno donde se ubica la obra: condiciones generales del sitio, localización del derecho de vías, tendido de cables, Reglamentos de Seguridad, etc. que afecten el proceso constructivo.
- Limpieza general e inspección de preparaciones.
- Verificar las condiciones de las excavaciones y de las cimbras.
- Definir las características de las cimentaciones o de las superficies de desplante como las subrasantes de calles o carreteras.
- La colocación del acero de refuerzo y de los elementos embebidos en el concreto.
- Definición de las juntas.
- Verificación de los métodos y equipos para la colocación y compactación del concreto.

- Comprobación que se tiene lo necesario para el curado, protección en caso de lluvia, etc. y está accesible.

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 mecánica y disminuir 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, deben eliminarse maderas de desperdicio, tierra suelta, grasas y aceites, terrones de arcilla, aserrín, papel, etc. En el caso de trabes y 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 del vaciado, se efectúe un lavado y eliminar principalmente la tierra, aserrín, y en general cualquier contaminante que altere la calidad del concreto y en algunas ocasiones alterar su apariencia, sobre todo cuando se trata de concreto arquitectónico.

Excavaciones.- Las superficies de las excavaciones sobre las que se colocará el concreto, deben satisfacer lo indicado en el proyecto en cuanto a localización, dimensiones y forma; en algunas ocasiones, es necesario colocar instalaciones para el drenaje. Las excavaciones para cimentaciones deben llevarse hasta encontrar material adecuado. En las excavaciones en rocas, la superficie descubierta debe ser sana, completamente limpia y preferentemente perpendicular a la dirección de las cargas; para limpiar estas superficies, se prefiere utilizar agua o chorro a presión de aire con agua, seguido de la remoción del exceso de agua mediante un chorro de aire a presión. Para cimentaciones importantes, generalmente es necesario obtener la aprobación del director de la obra antes de colocar el concreto.

En pavimentos, la subrasante debe compactarse satisfactoriamente, los " baches " deben ser eliminados y aquellas zonas que puedan tener movimientos posteriores deben dárseles tratamiento especial. Los rellenos de zanjas y las laderas deben compactarse cuidadosamente. La superficie de la subrasante se humedecerá para proporcionar una reserva de agua que ayude al curado del concreto.

Consideraciones para las cimbras o moldes.- Las cimbras deben colocarse correctamente, esto es que puedan soportar sin deformarse las presiones 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 deformación de ellas provoca segregación del concreto y si estas cimbras no son estancas se presentan fugas de lechada y mortero que no permite el acomodo correcto de los agregados dando lugar a la formación de defectos comúnmente llamados de " panal de abejas " que pueden ocasionar discontinuidad de esfuerzos.

Las presiones que se ejercen sobre las cimbras durante el vaciado del concreto, cuando se está vibrando, se producen porque se supone que el concreto actúa como un semifluido, sin embargo, esta presión es afectada por los siguientes factores:

1. Velocidad con la que se coloca el concreto.
2. Método para colocar el concreto y su consolidación (ya sea manualmente o por vibración interna).
3. Consistencia de la mezcla y proporciones de los materiales que la integran.
4. Temperatura del concreto
5. Tamaño y forma de la cimbra
6. Cantidad y separación del acero de refuerzo

Estas presiones del orden indicado en la tabla siguiente, actuando sobre las paredes de la cimbra deben calcularse correctamente y revisarse antes de la colocación del concreto para evitar deformaciones de ellas y para que no se alteren las secciones de los elementos.

VELOCIDAD DE COLOCACION. Elevación por hora, en metros	PROFUNDIDAD A LA QUE SE TIENE LA MAX. PRESION EN LA CIMBRA, en m		MAXIMA PRESION EN LA CIMBRA, en N/m ²	
	a 21 °C	a 10 °C	a 21 °C	a 10 °C
	0.6	1.2	1.5	16286
0.9	1.4	1.8	21076	28260
1.2	1.6	2.1	25865	35445
1.5	1.9	2.4	31134	42630
1.8	2.1	2.7	35928	49815

Si se presentan fugas de lechada o mortero, se pueden originar fisuras en los elementos que no son atribuibles a la calidad del concreto.

Las paredes de las cimbras deben impermeabilizarse si son de material absorbente pues si no se impermeabilizan, al colocar el concreto absorberán agua del mismo pudiéndose originar fisuras o bien, dando mal aspecto al concreto. Estos defectos generalmente se atribuyen al concreto, argumentando que fueron originados por la heterogeneidad en su composición.

Acero de refuerzo.- Cuando se haya efectuado la limpieza de las zonas en que se va a depositar el concreto, deberá efectuarse una revisión exhaustiva del acero de refuerzo pues cuando no se satisfagan las exigencias requeridas para él, pudo originar efectos que aunque no se pueda considerar estrictamente que sean causa de la alteración de la calidad del concreto, provocan efectos que pueden alterar considerablemente el comportamiento de la estructura llegando en algunos casos a producir la falla de ésta, lo que generalmente se atribuye a mala calidad del concreto.

Como ejemplo de lo anterior se puede mencionar lo siguiente:

1. Excesiva área del acero, sobre todo en columnas y trabes, aunado a mala colocación de las varillas que por el espacio disponible indicado por el proyecto de la sección, obliga a que la luz entre las varillas sea muy pequeña de tal manera que funciona como un cedazo e impide que las partículas gruesas del concreto pasen a través de ella. Imaginando un corte transversal del elemento se puede observar un concreto heterogéneo que transmite los esfuerzos en forma discontinua con concentraciones de esfuerzos en algunas zonas, haciendo fallar a la estructura que generalmente se atribuye a mala calidad del concreto

entregado. Para eliminar esta probabilidad de falla existen especificaciones que limitan la luz mínima entre las varillas de refuerzo y entre las varillas y las paredes de la cimbra.

Por Reglamento de Construcciones, el tamaño máximo nominal del agregado grueso del concreto no debe ser mayor que 0.75 de la separación entre varillas.

2. El acero de refuerzo no debe tener escamas de oxidación y en caso de que existan, se eliminarán frotándolas con cepillo de cerdas de acero y además se verificará que no haya oxidación con incrustaciones; en este último caso, deberá solicitarse al proyectista que verifique la sección del acero de refuerzo en caso de estimarlo necesario. El primer defecto, o sea, cuando se tengan escamas de oxidación, su efecto se traduce en pérdida de adherencia con el concreto y posible falla del elemento estructural. Determinar que la falla del elemento tuvo como origen la falta de adherencia entre el concreto y el acero es complicado y costoso.
3. Se debe revisar, conforme a los planos estructurales, que el número de varillas de refuerzo en cada elemento esta correcto, que los cortes en ellas y doblado en su caso es el indicado y que la fijación del acero de refuerzo sea firme, pues defectos u omisiones en estos conceptos pueden originar la aparición de fisuras, agrietamientos y aún falla del elemento, lo que no debe considerarse como deficiencia en la calidad del concreto empleado

Preparación de juntas.

1. Las juntas de **expansión** se diseñan para que el elemento estructural o la estructura a cada lado de la junta se muevan independientemente; si hay acero de refuerzo, éste no debe prolongarse a través de la junta. Si no existen estas juntas, se pueden generar esfuerzos de tensión o compresión que dañen al concreto. El material de relleno de estas juntas es compresible y con frecuencia también expandible. Se debe ser muy cuidadoso en vigilar que la junta esté libre de materiales incompresibles que impidan el trabajo de la junta.
2. Las juntas de **contracción** se construyen para formar planos débiles que controlen el agrietamiento que de otro modo se presenta por la contracción del concreto y el impedimento de los movimientos del elemento estructural. ; en este tipo de juntas, el acero de refuerzo pudo ser continuo o discontinuo a través de la junta. El material de relleno debe adherirse al concreto y tener una elasticidad suficiente para absorber el movimiento esperado de las juntas.
3. Las juntas de **trabajo** son juntas que se originan por la interrupción del vaciado del concreto ya sea en forma programada o imprevista y deben tratarse como juntas de contracción o expansión, según sea el caso.

En algunos casos, pueden requerirse espigas en algunas juntas, las que hay que alinear cuidadosamente y lubricar un extremo para que la junta pueda trabajar.

La utilización de formularios de verificación ha sido de gran ayuda en muchos proyectos ya que sistematiza la comprobación de los diversos aspectos indispensables de preparación para la recepción del concreto



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

ADITIVOS

**CONFERENCISTA
ING. LUIS GARCÍA CHOWELL
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

Aditivos para el concreto

“Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto además del cemento portland, del agua y de los agregados que se agregan a la mezcla inmediatamente antes del mezclado o durante el mismo”. Por su función, se les puede clasificar a los aditivos como:

1. Aditivos inclusores de aire (ASTM C 260)
2. Aditivos reductores de agua (ASTM C494, Tipo A)
3. Aditivos retardantes (ASTM C494, Tipo D)
4. Aditivos acelerantes (ASTM C494, Tipo C y E)
5. Superplastificantes (ASTM C494, Tipo F y G)
6. Minerales finamente divididos
7. Aditivos diversos, para mejorar la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadeado, formadores de gas, colorantes, inhibidores de la corrosión, y ayudas para bombeo.

El concreto debe ser trabajable, capaz de dársele acabados, fuerte, durable, impermeable y resistente al desgaste. Las principales razones del empleo de los aditivos son:

1. Para reducir el costo de la construcción de concreto
2. Para obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios
3. Para asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación, y curado en condiciones ambientales adversas
4. Para superar ciertas eventualidades durante las operaciones de colado

A pesar de estas consideraciones, se debe tener presente que ningún aditivo de ningún tipo ni en cualquier cantidad se podrá considerar como sustituto de una práctica correcta de colado.

La efectividad del aditivo depende de factores tales como el tipo, marca y cantidad de cemento; el contenido de agua, la forma, granulometría y proporciones de los agregados; el tiempo de mezclado, el revenimiento, y las temperaturas del concreto y del aire

Se deberán realizar mezclas de prueba con el aditivo y los materiales por utilizar a las temperaturas y humedades que se vayan a tener en la obra. De esta manera se pueden observar tanto la compatibilidad del aditivo con otros aditivos y con los materiales a emplear como los efectos del aditivo sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido. Se deberá usar la cantidad de aditivo recomendada por el fabricante o la cantidad óptima de aditivo determinada por medio de ensayos de laboratorio.

1. ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Los aditivos inclusores de aire se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. La inclusión de aire mejorará drásticamente la durabilidad de los concretos que están expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo. El aire incluido mejora considerablemente la resistencia del concreto contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. También se ve mejorada de manera importante la trabajabilidad del concreto fresco, y la segregación y el sangrado se reducen o se llegan a eliminar.

El concreto con aire incluido, contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente en toda la pasta de cemento.

La inclusión de aire en el concreto, se puede producir con la introducción de un aditivo inclusor de aire. Los aditivos inclusores de aire se agregan directamente a los componentes del concreto antes o durante el mezclado. Los principales ingredientes que se utilizan en los aditivos inclusores de aire se enlistan en la

Tabla 6-1. Las especificaciones así como los métodos de ensaye para los aditivos inclusores de aire se presentan en las normas ASTM C 260 y C 233

2. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA

Los aditivos reductores de agua se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto con un cierto revenimiento, reducir la relación agua- cemento, o para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua en aproximadamente 5% a 10 %. Los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua de 12% a 30% (consulte la sección "Superplastificantes").

Dependiendo de su composición química, los aditivos reductores de agua pueden disminuir, aumentar o no tener ningún efecto en el sangrado. Muchos aditivos reductores de agua también pueden retardar el tiempo de fraguado del concreto. A algunos se les modifica para produce varios grados de retardo, mientras que otros no afectan significativamente el tiempo de fraguado. Algunos aditivos reductores de agua, como los lignosulfonatos, también pueden incluir algo de aire en el concreto.

La efectividad de los reductores de agua en el concreto es función de su composición química, de la temperatura del concreto, de la composición y finura del cemento, del contenido de cemento, y de la presencia de otros aditivos.

3. ADITIVOS RETARDANTES

Los aditivos retardantes se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto. Las temperaturas altas en el concreto fresco (30° a 32°C y mayores), son frecuentemente la causa de una gran velocidad en el endurecimiento, lo que provoca que el colado y acabado del concreto sea difícil. Uno de los métodos más prácticos de contrarrestar este efecto consiste en hacer descender la temperatura del concreto enfriando el agua de mezclado o los agregados. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto.

Los retardantes se emplean en ocasiones para: (1) compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto, (2) demorar el fraguado inicial del concreto cuando se presentan condiciones de colado difíciles o poco usuales, como puede ocurrir al colar estribos o cimentaciones de gran tamaño, cementar pozos petroleros, o bombear concreto a distancias considerables, o (3) retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales, como puede ser una superficie de agregado expuesto.

Debido a que la mayoría de los retardantes también actúan como reductores de agua, se les denomina frecuentemente retardantes reductores de agua. Los retardantes también pueden incluir un poco de aire en el concreto.

En general, el empleo de retardantes va acompañado de una cierta reducción de resistencia a edades tempranas (uno a tres días). Los efectos de estos materiales en las demás propiedades del concreto, tales como la contracción, pueden ser impredecibles. En consecuencia, se deberán efectuar pruebas de recepción de los retardantes con los materiales con que se va a trabajar en condiciones anticipadas de trabajo.

4. ADITIVOS ACELERANTES

Estos aditivos se emplean para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas. Tal desarrollo de resistencia también se puede acelerar (1) con el empleo de cemento portland de alta resistencia a edad temprana Tipo III, (2) reduciendo la relación agua cemento con el aumento de 60 a 120 Kg de cemento adicional por metro cubico de concreto, o (3) curando a mayores temperaturas.

El cloruro de calcio (Ca Cl- es el material comúnmente usado en los aditivos acelerantes. El amplio uso de los aditivos a base de cloruro de calcio, ha brindado muchos datos y experiencias sobre su efecto en las propiedades del concreto. Aparte del incremento en aceleración de resistencia, el cloruro de calcio produce un aumento en la contracción por secado, una posible corrosión del refuerzo, descoloramiento (oscurece al concreto), y posibles descascaramientos.

La cantidad de cloruro de calcio que se vaya a agregar, no debe ser mayor de lo necesario para producir los resultados esperados y en ningún caso deberá exceder el 2% del peso del cemento.

En las situaciones donde no se recomienda el uso de cloruros, se puede disponer de acelerantes no corrosivos que no contienen cloruros (nitrato de calcio, nitrito de calcio).

5. ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES (REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO)

Los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango que cubren las especificaciones ASTM C 1017 y C 494 Tipos F y G, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los concretos producidos son concretos muy fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos. El concreto fluido se emplea (1) en colados de secciones delgadas, (2) en áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado, (3) en colados con tubo-embudo (bajo el agua), (4) como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical, (5) en las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos, y (6) para aminorar los costos de manejo. Con la adición de un superplastificante a un concreto con revenimiento de 7.5 cm se puede producir fácilmente un concreto con 22.5 cm de revenimiento. El concreto fluido queda definido por la especificación ASTM C 1017 como aquel concreto que tiene un revenimiento mayor de 19 cm y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales de 25 cm, pueden provocar que el concreto se segregue.

Los reductores de agua de alto rango (ASTM C 1017 y C 494 Tipos F y G), también se pueden emplear para fabricar concretos de baja relación agua-cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%. Esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua-cemento permite producir concretos con: (1) resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm², (2) mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana, y (3) una menor penetración del ión cloruro así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones agua-cemento bajas.

Los reductores de agua de alto rango normalmente son más efectivos, que los aditivos reductores de agua normales para producir concretos trabajables. En la mayoría de los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad o para producir concretos fluidos es de corta duración, de 30 a 60. Los reductores de agua de alto rango de revenimiento prolongado que se adicionan en las plantas dosificadoras ayudan a reducir los problemas de pérdida de revenimiento. El tiempo de fraguado se puede acelerar o retardar dependiendo de la composición química individual del aditivo, de la proporción dosificada, y de la interacción con los demás aditivos presentes en la mezcla de concreto.

La efectividad del superplastificante se eleva con el aumento en la cantidad de cemento y finos del concreto. También se modifica con el revenimiento inicial del concreto.

6. MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS

Los aditivos minerales finamente divididos son materiales pulverizados que se agregan al concreto antes del mezclado o durante este para mejorar o transformar algunas de las propiedades del concreto de cemento portland en estado plástico o endurecido. Estos compuestos son generalmente materiales naturales o subproductos. De acuerdo con sus propiedades químicas o físicas, se clasifican como (1) materiales cementantes, (2) puzolanas, (3) materiales puzolánicos y cementantes, y (4) materiales nominalmente inertes.

Materiales cementantes

Los materiales cementantes son sustancias que por si solas tienen propiedades hidráulicas cementantes (fragan y endurecen en presencia del agua). Los materiales cementantes incluyen a la escoria granulada de alto horno molida, al cemento natural, a la cal hidráulica hidratada, y a las combinaciones de estos y de otros materiales.

La escoria granulada de alto horno molida fabricada a partir de la escoria de alto horno de hierro, es un producto no metálico que consiste principalmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en los altos hornos.

El cemento natural se forma al calcinar calizas arcillosas justo debajo del punto de fusión; luego se muele el material hasta obtener un polvo muy fino.

La cal hidráulica hidratada, ASTM C 141, se obtiene calcinando calizas que contengan sílice y alumina hasta un punto en el cual se encuentre presente suficiente óxido de calcio libre y silicatos de calcio sin hidratar para lograr las propiedades de hidratación e hidráulicas del material.

Materiales Puzolánicos

Una puzolana es un material silíceo o aluminosilíceo que por sí mismo posee poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente molida y en presencia del agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Como puzolanas se emplean un gran número de materiales naturales, las tierras diatomáceas, los horstemos opalinos, las arcillas, las pizarras, las tobas volcánicas, y la piedra pómez. La mayoría de las puzolanas naturales se deben moler antes de ser usadas y muchas se tienen que calcinar a temperaturas de 650°C a 980°C, para activar sus componentes arcillosos. Estos materiales se clasifican según la norma ASTM C 618 como puzolanas Clase N.

Las puzolanas también incluyen a la ceniza volante y al humo de sílice. El aditivo mineral más ampliamente utilizado en el concreto, la ceniza volante, es un residuo finamente dividido (polvo que se asemeja al cemento) que resulta de la combustión del carbón mineral pulverizado en las plantas generadoras de electricidad. La densidad de la ceniza volante generalmente se encuentra dentro del rango de 2.2 a 2.8 y su color es gris o tostado.

Las cenizas volantes ASTM C 618 Clase F y Clase C se utilizan comúnmente como aditivos puzolánicos para el concreto. Los materiales Clase F son generalmente cenizas volantes de bajo contenido de calcio (menos de 10% de CaO), con contenidos de carbono usualmente inferiores a 5 %, aunque en algunas llegue a alcanzar el 10 %. Los materiales Clase C son frecuentemente cenizas volantes de contenido elevado de calcio (10 a 30% de CaO) cuyos contenidos de carbono usualmente son menores que 2%. Algunas cenizas volantes satisfacen las clasificaciones tanto para la Clase F como para la Clase C.

El humo de sílice, al que también se le conoce como microsílíceo o humo de sílice condensado, es un material que se emplea como aditivo puzolánico. Este producto en forma de polvo de color gris claro a oscuro o en ocasiones gris azulado verdoso, es resultado de la reducción de cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno de arco eléctrico durante la manufactura del silicio o de aleaciones de ferrosilicio.

El humo de sílice condensado esencialmente consiste en dióxido de sílice (más de 90 %) en forma no cristalina. Puesto que es un material susceptible de ser conducido por el aire como la ceniza volante, tiene forma esférica. Es extremadamente fino, con partículas con diámetros menores de una micra y con un diámetro promedio de aproximadamente 0.1 micra, casi 100 veces menor que las partículas promedio de cemento. El peso específico del humo de sílice por lo general se ubica dentro del rango de 2.10 a 2.25 pero puede llegar a 2.55. El cemento portland tiene un peso específico de aproximadamente 3.15.

7. ADITIVOS DIVERSOS

1. Fibras
2. Inhibidores de Corrosión
3. Repelentes de Agua
4. Colorantes
5. Etc.



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

AGREGADOS

**CONFERENCISTA
ING. DAVID MARTÍNEZ EGUILUZ
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

AGREGADOS

ING. DAVID MARTINEZ EGUILUZ *

DECFI - Palacio de Minería, calle Tacuba No. 5, Centro Histórico, C.P. 06000, México D.F. Tel. 521-4020 al 25, 521-7335 Fax: 410-0573 y 512-5121, internet: fgarza@tolsa.mineria.unam.mx
Con la colaboración de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado A.C.

AMIC - Blvd Adolfo López Mateos, No. 1135, San Pedro de los Pinos, C.P. 01180, México D.F.
Tel y fax: 272-8981, 272-9011, y 515-3154, email amicpac@netmet.com

* Director General de Triturados del Valle de México, S.A. de C.V.

GEOLOGIA.- Es la ciencia que estudia a la tierra. Es un conjunto ordenado de conocimientos acerca del globo terrestre en el que vivimos.

LA GEOLOGIA nos permite conocer los secretos sobre nuestro medio. Los geólogos, estudian la tierra desde el fondo del océano hasta la cima de las montañas con el propósito de investigar el origen de los Continentes y Mares. También comprueban la acción de los glaciares que existieron sobre la tierra y que se fundieron posteriormente, hace más o menos 500 millones de años, y la mayor parte de Groenlandia y de la Antártida respectos de una glaciación reciente cuyos efectos están en proceso de desaparición.

LOS GEOLOGOS: también investigan la evaluación de la vida desde los organismos unicelulares más primitivos que surgieron de los antiguos mares hasta los animales complejos y plantas actuales. Dicha evaluación comprende desde la simple alga hasta los árboles que producen semillas; desde los proeuarios primitivos hasta los mamíferos.

LA GEOLOGIA POR LO GENERAL SE DIVIDE EN: GEOLOGIA FISICA Y GEOLOGIA HISTORICA.

LA GEOLOGIA. Estudia la constitución y propiedades de los materiales que componen la tierra, su distribución a través del globo, los procesos que lo forman y alteran, su manera en que han sido transportados y transformados.

LA GEOLOGIA HISTORICA. Estudia la evaluación de la vida sobre la tierra, desde las formas más elementales que existieron hace 2000 millones de años, hasta la flora y fauna actual y el hombre mismo. Así mismo, también estudia los cambios de la tierra a través de 4000 ó 5000 millones de años (El avance y retraso de los mares, el depósito y la erosión la formación de cadenas montañosas) en fin, la historia cronológica de la forma en que han sucedido los procesos que estudia la geología.

LAS CIENCIAS AFINES A LA GEOLOGIA SON: La Física que se encarga de tratar las leyes de la energía y de la estructura atómica; La Química que se refiere a la composición y a las alteraciones de los materiales; la Biología que es la ciencia de la vida y en cuanto al lugar que ocupamos, debemos de recurrir a la Astronomía

LA GEOLOGIA. Se basa en el estudio de las ROCAS, que según su origen se han dividido en tres grandes grupos:

IGNEAS SEDIMENTARIAS Y METAMORFICAS

LAS ROCAS IGNEAS. Primeras en la formación de los grupos, tenían su nombre del latín (fuego). Estas, rocas, en su principio fueron una roca fundida, semejante a un líquido caliente que recibe el nombre de magma, que al enfriarse se convierte en roca dura y firme. Así la lava que se derrama desde un volcán en erupción, se enfría y endurece formando una roca ígnea.

LAS ROCAS SEDIMENTARIAS. Que también toman su nombre del latín Sedimentum Materia que se sienta, están constituidas por partículas derivadas de la desintegración de rocas preexistentes. Por lo regular estas partículas son transportadas por el agua, el viento o el hielo a los lugares donde se depositan según nuevos acoplamientos. Por ejemplo las olas que azotan una costa rocosa pueden aportar los granos de arena y los guijarros de una playa cercana, Si estos depósitos de arena se endurecieran tendríamos una roca sedimentaria. Uno de los rasgos esenciales de las rocas sedimentarias es la estratificación de los depósitos que las forman.

LAS ROCAS METAMORFICAS. Constituyen la tercera familia de las rocas, la palabra Metamórfico significa que cambió de forma, esto quiere decir que la roca original cambió. La presión de la tierra, el calor y ciertos fluidos subterráneos químicamente activos pueden estar involucrados en la transformación de una roca originalmente sedimentaria a metamórfica.

"CLASIFICACIÓN DE ROCAS "

DIVISIONES

SUBDIVISIONES

G R U P O

IGNEAS

EXTRUSIVAS

INTRUSIVAS

R O C A S

SEDIMENTARIAS

CLASTICAS

QUIMICAS

ORGANICAS

METAMORFICAS

NO FOLIADAS

FOLIADAS

BANCOS DE ANDESITA DEL VALLE DE MEXICO

FORMACION GEOLOGICA Y SU DESCRIPCION Las cartas geológicas nos indican que son formaciones volcánicas de varios miles de años que, a través de las transportaciones fluviales internas, de las cordilleras, se van depositando, formando macizos volcánicos terminados en rocas de origen metamórfico de cenizas a cristales.

DESCRIPCION DEL MATERIAL En él encontramos el rosa riolítico y el gris andesítico.

RIOLITA. Esta roca tiene una pasta fundamentalmente afanítica salpicada de fenocristales de cuarzo, o de feldespato de potasio el color de la riolita varia ampliamente, pero en general es blanco o amarillo claro, gris o rosa. La mayor parte de la riolita tiene una estructura bandeada, es decir muestran una serie de capas alineadas, que se formó cuando el magna fluida pastoso antes de solidificarse.

ANDESITA. Este material es el principal en los bancos del oriente y poniente del Valle de México, la andesita es una roca afanítica y frecuentemente porfírica y que no tiene cuarzo, el feldespato plagioclasa constituye el fenocristal más común.

La mayoría de las andesitas presentan estructuras bandeadas, pero no tan notables como en las riolitas. El color de la andesita varia del blanco al negro, aunque la mayoría son de color gris obscuro o gris verdoso. La andesita es abundante en las corrientes de lava y también en fragmentos en la brecha volcánica, particularmente en cordilleras rematados por volcanes, como la de los andes, de donde deriva su nombre. La andesita también forma pequeñas masas intrusivas.

Gran parte del contorno del Valle de México, está constituido por andesitas, la Sierra Nevada del Ajusco, las Sierras de las Cruces Y monte Alto son todas andesíticas. El gran abanico de origen fluvioso-glacial que cubre las Faldas de la Sierra del Sur de la Ciudad de México, está formado por material andesítico piroclástico (arena y grava) retransportado. El mismo material se encuentra al oriente de Texcoco, así como las Lomas de Cuernavaca.

BASALTO VESICULAR,

Otro de los materiales utilizados en la actualidad es el basalto vesicular, que es una roca extrusiva porque se encuentra aflorada en la superficie, se le nombra vesicular por encontrarse con su textura porosa con pequeñas cavernas, es muy abrasiva debido a su dureza y sus fracturas angulosas; esta roca es muy común y se encuentra en todo el mundo, es roca de origen volcánico de donde el magma enfrió en la superficie, es por eso que es una roca de grano fino (estructura afanítica) se encuentran formando las grandes masas de basalto el olivino (materia arcillosa) fragmentos de plagioclosa o en nuestro país se encuentra principalmente en la parte central.

TEZONTLE

El tezontle o espuma volcánica que procede de la lava de los volcanes y que tiene un enfriamiento rápido en la superficie y no da lugar a que la roca se solidifique, al evaporar el agua en el magma se forman los poros, este material está formado por granos muy finos no consolidados por eso es de peso muy ligero. Es abundante en zonas volcánicas en falda de las ladera VOLCANICAS.

AGREGADOS PARA CONCRETO

Los Agregados son materiales minerales inertes, que combinados con cemento, agua aditivos, se emplean en la elaboración de Concretos Hidráulicos.

Se considera como agregado fino, la arena natural, la arena triturada, o una combinación de ambas; y como agregado grueso la grava natural o triturada, piedra triturada, o una combinación de ambas

Los agregados ligeros para concreto estructural se utilizan cuando se requiere concreto resistente a la compresión de peso propio bajo. Se consideran dos tipos de agregados ligeros:

- a) Agregados preparados por expansión, calcinación o concreción de productos como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, ceniza volante, lutitas o pizarra.

b) Agregados preparados procesando materiales naturales como piedra pómez, escoria volcánica (tezontle) o tobas.

Las partículas de los agregados serán resistentes, densas, durables, limpias, libres de elementos indeseables tales como arcillas, limos o materia orgánica.

En nuestro país, México, generalmente se utilizan las normas de la ASTM, especificación C-33 para el Control de Calidad de los Agregados destinados a la elaboración de concretos hidráulicos o la NOM C-III. Aun cuando siempre se recomienda un proceso de producción por vía húmeda (Agregados Lavados) la escasez de agua en gran parte del territorio nacional ha ocasionado que esta recomendación generalmente se cumpla en la construcción de grandes obras de infraestructura (presas, canales, revestimiento de túneles, etc. mientras que en las obras urbanas de los grandes Centros de población (Ciudad de México; Guadalajara, Monterrey, etc.) se proceda en la mayoría de los casos, por vía Seca, con la siguiente presencia en el producto de materiales limo-arcillosos que obligan a un mayor consumo de cemento en la elaboración del concreto.

Los siguientes son los porcentajes máximos (en peso de la muestra permisibles de substancia indeseables:

<u>a) Agregado Fino</u>	<u>% del Pesos</u>
- Materiales que pasan la Malla N° 200	3.0
- Arcillas y Partículas desmenuzables	0.5
- Hulla o Lignito	0.25
- Otras sustancias dañinas	2.00
- Total máximo permisible	4.00

<u>b) Agregado Grueso</u>	<u>% del Peso</u>
- Materiales que pasan la malla N° 200	0.5
- Arcilla	0.25
- Hulla o Lignito	0.25
- Partículas blandas y livianas	2.0
- Otras	1.0
- Total Máximo Permisible	3.0

La Curva Granulométrica del Agregado fino, deberá estar comprendida dentro de los límites establecidos pro la especificación C-33, y su Módulo de finura no deberá ser menor de 2.4 ni mayor de 3.1 Cuando sea ensayado por medio de mallas de laboratorio, según los requerimientos de ASTM C-136, deberá cumplir lo siguiente:

<u>Malla con abertura</u> <u>Cuadrada</u>	<u>Por ciento en Peso</u> <u>que pasa la Malla</u>
3/8" (9.5mm.)	100
Nº 4	95-100
Nº 8	80-100
Nº 16	50-85
Nº 30	25-60
Nº 50	10-30
Nº 100	2-10

Cabe hacer notar que la propia ASTM C-33 en la sección 3.3 proporciona una cláusula que dice LOS AGREGADOS QUE NO CUMPLAN CON LAS ESPECIFICACIONES, PERO QUE DEMUESTREN POR PRUEBAS ESPECIALES, O POR SERVICIO REAL, QUE PRODUCEN CONCRETO DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD ADECUADAS, PUEDEN SER EMPLEADOS.

PRODUCCION DE AGREGADOS

La producción de Agregados Pétreos en general, involucra como principales actividades, a las siguientes:

- Prospección de los bancos de roca
- Despalme o Descapote
- Barrenación
- Voladura con Explosivos
- Carga
- Transporte a la Planta de Trituración
- Trituración, cribado, lavado y manejo
- Almacenamiento

En México, las plantas de producción de agregados para concreto, utilizando en su gran mayoría, roca proveniente de la explotación de una pedrera o cantera (trituración total), o de un Banco de Río o Conglomerado (trituración Parcial). Como excepciones pueden citarse, en la Ciudad de Monterrey una planta que procesa las escorias de alto horno de fundidora de Monterrey, y en Monclova, de Altos Hornos de México.

Antes de decidir la explotación de una Pedrera, Cantera o Banco de Río, es necesario conocer la extensión del yacimiento, su volumen y la calidad del producto: El Agregado Pétreo.

El agregado se mezcla con otros materiales aglomerantes o cementantes para dar una estructura sólida (concretos hidráulicos, mezclas asfálticas, etc.), o puede utilizarse sólo, como en el material de balasto para vías férreas.

El material del cual se obtienen la mayoría de los agregados, es la roca natural, aún cuando en ocasiones se utilizan las escorias de alto horno, o material elaborado en hornos rotatorios de cocción de mezclas sílico-cálcareas, si la economía del proyecto lo permite por diversas razones; por ejemplo, que las fuentes de agregados naturales se encuentren a distancias considerables de la zona.

De acuerdo con la dureza, de la cual dependen en gran parte el comportamiento de las máquinas de trituración en la producción de los agregados pétreos, se puede hacer la siguiente clasificación de las rocas más abundantes: Rocas suaves, Rocas de dureza media, Rocas duras y Rocas muy duras.

Los minerales más comunes en las rocas utilizadas para la elaborar agregados, son: Minerales silicatados Feldespatos, Minerales carbonatados, Minerales ferromagnesianos, Minerales arcillosos y Óxidos de hierro.

De acuerdo con el comportamiento de las máquinas de trituración, las rocas se clasifican en: Duras y Abrasivas: Rocas con contenido de Cuarzo (SiO_2) superior al 6% Ejemplo: Granito, Basalto, Diorita. Rocas no abrasivas. Rocas con contenido de cuarzo inferior al 6% Ejemplo: Caliza ($CaCO_3$), Dolomita, Mármol.

En el primer caso, se obtienen las mínimas producciones en toneladas por hora y los máximos desgastes en el equipo de trituración. En otras palabras, costará más dinero el metro cúbico de agregado producido.

En el segundo caso, se obtendrán mayores producciones y desgastes mínimos en el equipo de trituración. es decir, costará menos dinero el metro cúbico del agregado producidos pudieron utilizarse cierto tipo de trituradoras (rodillos, martillos, impacto), que por lo elevados desgastes, es antieconómico aplicarlas en la trituración de rocas abrasivas.

No todas las rocas son adecuadas para elaborar tal o cual tipo de agregado pétreo.

Es necesario someterlas a un determinado número de pruebas de laboratorio, para determinar sus propiedades físicas, y dictaminar si cumplen con las especificaciones establecidas.

Entre las principales pruebas de laboratorio, pueden enumerarse a las siguientes. Prueba de resistencia a la compresión, Prueba de determinación de la gravedad específica, Prueba de absorción, Prueba de resistencia al impacto, Prueba de abrasión "Los Angeles", Prueba de abrasión "Deval" y Prueba de dureza "Dorry".

Se puede establecer una clasificación general de los principales tipos de agregados pétreos más comúnmente utilizados en la industria de la construcción, como sigue: Agregados para elaborar concretos hidráulicos (elaborados generalmente por vía húmeda), Agregados necesarios para la construcción de carreteras y aeropistas y Agregados necesarios para la construcción de vías férreas.

AGREGADOS PETREOS

I.- CONCRETOS HIDRAULICOS (Vía Húmeda o Lavados)

- I.1.- Arena: Malla N° 4 - Malla N° 200
- I.2.- Grava 1: 3/4" - Malla N° 4
- I.3 - Grava 2: 1 1/2" - 3/4"
- I.4.- Grava 3. 3" - 1 1/2"
- I.5.- Grava 4: 6 - 3

II.- CARRETERAS Y AEROPISTAS (Vía seca, no lavados)

II.1.- Material de Sub-base: 2" - 0

II.2 - Material de Base: 1 1/2" - 0

II 3.- Material para Carpeta Asfáltica: 3/8" - 0

II 4.- Material de Sello: 3/8" - 1/4"

III.- VIAS FERREAS (vía seca)

III.1.- Balasto: 1 1/2" - 1/4"

III.2.- "Screening": 3/4" - 1/4"

III.3.- Polvo o desperdicio: 1/4" - 0

Un país como México, con casi 2 millones de Kilómetros cuadrados de superficie, ofrece prácticamente todo tipo de rocas para la elaboración de Agregados pétreos. entre las cuales pueden citarse:

1. - Rocas Ígneas, como basaltos, granitos, Dioritas, Andesitas, Riolitas, en las zonas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y Valle de México.
2. - Grava-Arena del Río dura y abrasiva en las corrientes que desembocan en el Océano Pacífico y Golfo de México.
- 3 - Rocas Sedimentarias (Calizas y Dolomitas), en la Península de Yucatán (Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco y Norte de Chiapas), y zona de Monterrey, Torreón, Tula y Apasco en Hidalgo, Zapolitán en Jalisco, etc.

Existe pues un gran número de tipos de roca, con propiedades físicas muy diversas. En caso particular de materiales destinados a elaborar Agregados Pétreos para Concretos Hidráulicos, dicha materia prima debe poseer determinadas cualidades bien definidas; en otras palabras no todos los yacimientos serán explotables.

En muchas ocasiones, fuertes variaciones en la calidad de la roca se encuentran no únicamente de una cantera a otra, sino incluso en la misma cantera. Lo mismo sucede en lo que se refiere a potencia del yacimiento. A menudo ocurren sorpresas y se han visto yacimientos agotados antes de haber permitido la amortización de los capitales invertidos.

La experiencia permite admitir, entre los constructores especializados, el hecho de que cada instalación de producción de Agregados, se presenta como un caso particular. En el mejor de los casos pueden resolverse por analogía con instalaciones ya realizadas pero en principio de debe considerar que no existe una solución "estándar".

Antes de decidir la explotación de una cantera o banco, es necesario conocer la extensión del yacimiento, su potencia, sus características geológicas y la calidad de los productos que se van a obtener para poder seleccionar adecuadamente los equipos necesarios.

Los Agregados Pétreos provienen de rocas fragmentadas que se han reducido a ese tamaño bien sea por un proceso de disgregación natural (Grava - Arena de Río), o bien por medio de un proceso mecánico (tritución), mediante el cual, con máquinas diseñadas para este propósito, se aplican a los fragmentos de roca cargas que provocan su ruptura y por lo tanto, su reducción de tamaño.

Para la obtención de los agregados pétreos debidamente clasificados en la cantidad necesaria y de la calidad especificada, además de las maquinas de reducción (quebradoras, Trituradoras, Molinos, etc.), se requiere equipo complementario (Alimentadores, Bandas Transportadoras, cribas vibratorias, gusanos lavadores, etc.), para integrar las Plantas de Trituración Estacionarias o Portátiles, que son el conjunto de máquinas balanceadas, que transformaran la Roca Fragmentada, Material Natural o Greña, en Agregados Pétreos útiles.

Las etapas básicas en la Producción de Agregados Pétreos, son las siguientes Ñ

1. - Remover el material natural o greña, será necesario realizar una fragmentación inicial de la roca por medio de explosivos. La carga del material fragmentado se efectúa con cargados frontal sobre neumáticos o sobre orugas, pala mecánica, excavadora hidráulica y si se trata de bancos de agregados naturales, la draga sobre orugas. En muchas ocasiones es necesario realizar la operación de despalme, para eliminar árboles, raíces, tierra vegetal y roca intemperizada, utilizando bulldozer, motoescrapas, etc.

2. - Una vez preparada en el banco la roca, para reducirla a una forma y tamaño que la Planta de Trituración puede recibir y manejar, se transporta el material a la Planta por medio de camiones de la capacidad requerida, o en ocasiones por medio de unos transportadores de banda.

3 - El material pétreo recibido en la planta, se procesa por medio de operaciones sucesivas de alimentación, trituración primaria, secundaria y terciaria, transporte en banda, cribado, lavado, almacenamiento, etc., para llegar al producto terminado especificado.

Las rocas y piedras son fragmentadas trituradas o reducidas de tamaño para producir partículas de gravas y arena, por una o varias de la siguientes acciones mecánicas:

1. Impacto
2. Desgaste
3. Corte
4. Compresión

Se conoce como Índice de Reducción "IR" de una máquina de Trituración, a la relación máxima entre el tamaño a la salida "D" y tamaño a la alimentación "D₀" en la cual es económicamente aconsejable operar la quebradora

Las etapas de trituración que se deben cumplir, de acuerdo con la tecnología actual de las máquinas de reducción (Quebradoras, trituradoras y Molinos), con las siguientes:

ETAPA	RANGO DE APLICACION	TIPO DE QUEBRAD.	INDICE DE REDUC.
1. Trituración Primaria	Convierte el Material en greña, a tamaños máximos en el rango de 4" a	Quijadas	8 - 1
		Giratorias	8 - 1
2. Trituración Secundaria	Convierte Fragmentos de roca de 4" a 10" a tamaños en el rango máximo de 1" a 3"	Conos "S"	10 - 1
		Rodillos dobles	3 - 1
		Martillos	20- 1
3. Trituración Terciaria	Convierte fragmentos de 1" a 3", en tamaños máximos en rango de 1/4" a 3/4"	Conos "FC"	
		"SH"	10 - 1
		Rodillo triples	6 - 1
		Impacto	30 - 1

4. Trituración Cuaternaria o molienda	Convierte fragmentos de 1/4" a 3/4" a un producto menor de 1/4"	Conos "VFC"	6 - 1
		Molinos de Barra	15 - 1
		Molinos de Bolas	Varia
		Pulverizadores	Varia

Las Trituradoras con mayor índice de reducción, son las tipo Impacto y Martillos, aún cuando sufren un desgaste excesivo cuando procesan rocas con mayor de 6% de contenido de cuarzo o sílice (Si O2).

EQUIPO DE TRITURACIÓN

En el campo de la obras Civiles generalmente se utilizan para la producción de Agregados Pétreos, los siguientes tipos de maquinaria para integrar las Plantas de Trituración Estacionarias o Portátiles.

1. Trituración Primaria.- Quebradoras de Quijada tipo "Simple Togle" o "Simple Biela".
2. Trituración Secundaria.- Trituradora de Cono tipo "S" o "Standard" cuyos tamaños más populares son :

Diámetro inferior del Cono Móvil en Milímetros	Rango de Aberturas de Salida	Rango de Producciones
--	------------------------------	-----------------------

1100	3/8" a 2"	65 a 330 ton/n
1300	1/2" a 2"	125 a 425 ton/n
1500	5/8" a 2 1/2"	190 a 670 ton/n
1700	3/4" a 2 1/2"	280 a 790 ton/n
1900	3/4" a 2 1/2"	350 a 950 ton/n

3. Trituración Terciaria.- Trituradores de Cono tipo "FC" (Fine Crushing) o "Short head".

4. Trituradoras de Cono tipo "VFC" (Very Fine Crushing) o "Gyradisc".

4.2. - Molinos de Barras. Pueden utilizarse por vía seca o vía húmeda, para producir arenas de corrección para materiales de base o carpeta, o arenas para elaborar concretos hidráulicos en sitios donde no se encuentran depósitos de arena natural. Existen tres opciones de operación.

4.2.1. Alimentación y Salida Axiales: Para producto entre mallas N° 20 a N° 50.

4.2.2 Alimentación axial y salida periférica extrema y para producto entre Mallas N° 8 a N° 20

4.2.3. Doble Alimentación axial: Para producirse entre Malla N° 4 y Malla N° 8 (arenas para concretos hidráulicos, producida por vía Humeda")

4.3. Molinos de Bolas. En obras civiles, se utilizan en la elaboración de Filler Mineral (Polvo de Roca), que entra en la dosificación de concretos hidráulicos para grandes obras de Presas y Proyectos Hidroeléctricos.

5 - o se procesan rocas y minerales no abrasivos (menos del 6% de contenido de sílice), como calizas, dolomitas, talco, yeso, asbesto, carbón mineral, etc., en muchos casos es conveniente utilizar las trituradoras de Impacto y de Martillos que por tener un elevado índice de reducción y dar partículas fragmentadas con muy buen coeficiente de forma, resultan en algunos casos constituir la solución más económica

ALIMENTADORES

5.1 Alimentadores Grizzly Vibratorio con rejilla de precibado. Es el equipo más utilizado en las plantas de producción de agregados pétreos estacionarios o portátiles.

5.2 Alimentadores de Plato Reciprocante. Se utilizan en el fondo de las tolvas de recepción de las Plantas de Trituración Parcial de Grava - Arena de Río.

5.3 Alimentadores de Tablero Metálico o delantal (Apron Feeder). Se utilizan principalmente en la Industria Minera, ya que su construcción robusta, les permite trabajar en condiciones severas, manejando rocas y minerales duros y abrasivos.

6. - Transportadores de Banda. Se producen tanto estacionarios como portátiles para anchos normalizados de banda de 18", 24", 30", 36", 42", 48", 54" Y 60 "en aplicaciones de Obras Civiles, aún cuando en Minería se encuentran anchos hasta de 120", con capacidades desde 50 t/h hasta varios miles de toneladas por hora.

- Cribas Vibratorias: Existen las Cribas Vibratorias Horizontales, para equipar a las Plantas Portátiles o Grupos Móviles y las Cribas Vibratorias inclinadas, para integrar las Plantas estacionarias o fijas.

Utilizan para el precibado de una alimentación a quebradora de quijadas primaria, generalmente después de una alimentador de delantal (apron), siendo los tamaños más comunes, los siguientes.

EQUIPO DE LAVADO

Gusanos lavadores: Sirven para la eliminación por lavado con agua de los limos y arcillas contenidos en las arenas, así como para el escutrido de las mismas.

Tambores Desenlodadores o Scrubbers.

Se utilizan para el lavado energético por medio de un tambor metálico cilíndrico con aspas en su inferior, de gravas y minerales con muy alto contenido de arcillas y limos, los cuales se disgregan y disuelven en agua.

Tanques Clasificadores de Arena. Se utilizan para clasificar por medio de decantación diferida de los granos en un tanque con agua tranquila en régimen laminar, Arenas destinadas a elaborar concretos Hidráulicos, que inicialmente no cumplen con la norma C-33 Composición Granulométrica, y que al recomponer las fracciones de la decantación fraccionada, se obliga a

que entren dentro de las curvas granulométricas especificadas, mezclándose luego dichas fracciones, por medio de un gusano lavador convencional.

Ciclones Hidráulicos de Recuperación de Finos: Se utilizan para recircular el agua de desperdicio de un gusano lavador que arrastra partículas útiles para la composición de la arena en el ciclón, al entrar bombeada el agua tangencialmente, pierde velocidad, permitiendo la precipitación de los granos de arena. El agua con las partículas de limo y arcilla disueltas, se elimina por una tubería que sale de la parte superior del ciclón.

En general una gran variedad de equipos ha sido diseñada para constituir una Planta de Trituración que produzca los agregados con las especificaciones requeridas, entre los cuales se cuentan principalmente con:

1. Tolvas de recepción y alimentadores Grizzly Vibratorios, de Plato y de Delantal (Apron), para recibir el material en greña e introducirlo a su proceso en la Planta.
2. Quebradoras y Trituradoras primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias si se requieren, para obtener los tamaños de los productos requeridos.
3. Bandas Transportadoras para mover y dirigir el material en el curso del proceso de una unidad a otra, o hacia las tolvas o pilas de almacenamiento.
4. Cribas vibratorias para separar, graduar y dirigir el material a la etapa siguiente de trituración o hacia las tolvas o pilas de almacenamiento del producto final.
5. Tolvas para almacenamiento temporal de los productos y pilas con o sin túnel de recuperación.
6. Cuando es necesario, equipo de lavado como gusanos, desenlodadores, flautas de riego, etc.

Cualquier tipo de Planta de Producción de Agregados Pétreos, tendrá como finalidad, que la producción de agregados cumpla con la graduación especificada y a una capacidad en toneladas por hora de acuerdo con las necesidades establecidas.

Hasta la fecha, no ha sido posible diseñar una quebradora o trituradora que en un solo paso o etapa, reduzca el material proveniente del banco, a tamaños útiles. Dicha reducción deberá realizarse en diversos pasos o etapas, para cumplir con las normas técnicas y económicas de los equipos disponibles en la actualidad.

La combinación balanceada de los equipos de trituración junto con los equipos complementarios requeridos (Alimentadores, Bandas Transportadoras, Cribas Vibratorias, etc.) integran la Planta de Trituración, que es la unidad que transformara el Material Pétreo Natural o Greña, en Agregados Útiles.

Para seleccionar adecuadamente dicho equipo, es necesario contar con la siguiente información básica.

DATOS BASICOS

1. - Naturaleza geológica del Material
2. - Tamaño máximo a la alimentación. En caso de ser material de banco de Agregados naturales de río, proporcionan la granulometría media aproximada de dicho banco.
3. - Capacidad nominal requerida de la Planta en toneladas por hora.
4. - Tamaños y porcentajes de los productos requeridos a la salida de la planta.

En obras Civiles se utilizan principalmente las Plantas portátiles de Trituración salvo en los grandes proyectos hidroeléctricos, en los cuales debido a su magnitud, y al tiempo de duración de la obra, se utilizan las Plantas Estacionarias.

Los grupos móviles normalizados que se utilizan con mayor frecuencia, son los siguientes.

1. - Grupo Móviles de Trituración Primaria

Sus componentes son:

- Alimentador Grizzly Vibratorio
- Quebradora primaria de quijadas
- Banda transportadora de evacuación
- Motores eléctricos

- Chasis remolque montado sobre neumáticos

2. - Grupos Móviles de Trituración Secundaria

Sus componentes son:

- Criba vibratoria horizontal de dos o de tres pies
- Trituradora secundaria de cono tipo "G"
- Banda transportadora de evacuación
- Motores eléctricos
- Chasis remolque montado sobre neumáticos

3. - Grupos Móviles de Trituración Terciaria

Sus componentes básicos son:

- Criba vibratoria horizontal de dos o de tres pisos
- Trituradora terciaria de cono tipo "FC"
- Banda transportadora de evacuación
- Motores eléctricos
- Chasis remolque montado sobre neumáticos

4. - Grupo Móviles de Cribado y Lavado

Sus componentes básicos son.

- Criba vibratoria horizontal de dos p de tres pisos, equipada con flautas de riego.
- Gusano lavador de arena doble
- Motores eléctricos
- Chasis remolque montado sobre neumáticos

Tanto la evolución de las técnicas de construcción, como la magnitud de las obras civiles que se realizan en la actualidad, has obligado a establecer normas para el control de calidad, más estrictas y elaboradas en la producción de los agregados pétreos para concretos hidráulicos. Es necesario elaborar con cuidado para cada caso, los estudios técnicos y económicos necesarios para seleccionar el equipo adecuado.

En un país como México, en donde puede encontrarse cualquier tipo de roca como materia prima, será necesario seleccionar la combinación de maquinas que produzcan el agregado de la calidad especificada, al mínimo costo por metro cúbico.

En las grandes obras de infraestructura en donde es necesario producir grandes volúmenes de concreto de primera calidad, se ha procedido a instalar plantas de elevada capacidad para el proceso de la roca por vía húmeda. En algunos casos, la arena se obtuvo de la explotación de bancos de río, mientras que en otras fue necesaria producirla artificialmente, por la, molienda de gravas en molinos de barras de doble alimentación axial y salida periférica central.

En la planta de trituración de grava de río para la elaboración de agregados para los concretos de la "central nucleoelectrica de Laguna Verde" en el Estado de Veracruz, se utilizó arena fina natural de río, con arena gruesa producto de trituración cuaternaria en cono tipo "VFC" de 48' tamaño, contando dicha planta, para el control estricto de la granulometria, módulo de finura de las arenas utilizadas, con un tanque clasificador-corrector por vía húmeda.

Por lo que se refiere a las plantas de producción de agregados destinados a satisfacer las necesidades de las áreas urbanas más importantes de nuestro país, desgraciadamente debido a la escasez crónica de agua, operan generalmente por vía seca, obligándose a tener un mayor consumo de cemento en la elaboración de los concretos.

En la ciudad de México y zona metropolitana, donde se encuentran rocas ígneas (basaltos del Pedregal y los reyes, conglomerados andesíticos de Santa Fé, Texcoco). etc.), se utiliza generalmente la quebradora de quijadas para realizar la etapa primaria, y las trituradoras de cono para las etapas secundarias y terciaria, mientras que en Hidalgo, Monterrey y Mérida, donde se explotan bancos de calizas y dolomitas poco abrasivas, se utilizan con frecuencia las trituradoras de impacto, martillos y de rodillo doble y triple.

Se aprecia que en los últimos 60 años, las maquinas de trituración propiamente dicha (quebradoras de quijada y giratorias; trituradas de cono, rodillos, impacto y martillos; molinos de barras y de bolas) han evolucionado poco. Sin embargo, el equipo complementario (alimentadores, transportadores de banda, cribas vibratorias gusanos lavadores, motores y controles eléctricos grupos electrógenos etc.), ha tenido un mayor desarrollo en los últimos 40 años, por lo que con las mismas máquinas de trituración existentes en la década de los veintes, se pueden integrar en la actualidad plantas mucho más eficientes con mucha menor necesidad

de equipo humano para su operación reduciéndose notablemente por dichos motivos, los costos de producción, mejorándose importantemente la calidad del producto final

La mecanización de las plantas de producción de agregados pétreos, se ha convertido en un imperativo en la actualidad para mejorar la regularidad de su funcionamiento, su rendimiento y la calidad de los productos elaborados.

No hay que olvidar que la adecuada selección del equipo de preparación, explotación y manejo del producto de la pedrera o banco (despalme, barrancón, voladora, carga, transporte), influirá decisivamente en el costo que se obtenga en el producto final.

BIBLIOGRAFIA

CONFERENCIA ING. PEDRO LUIS BENITEZ

AGREGADOS PARA CONCRETO, IMCYC

DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLA DE CONCRETO, IMCYC

MANUAL DE CONCRETO, SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS



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

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

CONSOLIDACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

**CONFERENCISTAS
ING. JUAN OSORIO PALMA
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

COMPACTACIÓN DEL CONCRETO

ING. JUAN OSORIO PALMA

1. INTRODUCCIÓN:

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 irremediablemente 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 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 vibraciones 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 COMPACTACIÓN

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 del 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 del agregado, para lograr un uso 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 del revenimiento debido a la alta temperatura, fraguado falso, retrasos y otras causas.

3. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Debe de 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 necesario 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 puede ser interna o externa. Los compactadores de potencia pueden utilizarse para 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.

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. COMPACTACIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE VIBRACIÓN

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 encuentran 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 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 principio desplome o "revenido" del concreto, y la segunda una deaeración (eliminación de las 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 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 estos 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, 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 aquellas cercanas al vibrador se eliminan antes que aquellas 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, 50 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 cabezas 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 engrane 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 de 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 minutos (60 ciclos por segundo). 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 un motor 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, el motor de aire se halla generalmente dentro de la cabeza del vibrador. El 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, 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 airear el concreto.

El radio de acción y por lo tanto el espaciamiento de las inserciones, depende no solamente de las partículas 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 del cable conductor (de acuerdo con la longitud necesaria). Para vibradores de aire deberán fijarse los requisitos de aire comprimido en kg/cm^2 (lbs/pulg^2) y m^3/min (pies^3/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 Vibrador 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 neumáticamente 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 1 000 a 5 000 ciclos por min. (20 a 80 Hz).

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 producen 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 cimbra para dar una consolidación adecuada.

1. Para revolturas plásticas, en cimbras para vigas y muros. Fuerza centrífuga = $0.5 \{[(\text{peso de la cimbra}) + 0.2(\text{peso del concreto})]\}$
2. Para revolturas rígidas en tuberías y otras formas rígidas. Fuerza centrífuga = $1.5 \{[(\text{peso de la cimbra}) + 0.2(\text{peso del concreto})]\}$

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 y otro aparato adecuado. De estos valores se puede calcular la aceleración actuante. Las aceleraciones convenientes para vibradores de cimbra se hallan 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 molde 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 concreto 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 el cual imparte rotación nociva al concreto. Esto puede evitarse con instalar dos vibradores uno junto al otro, de tal manera 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 utiliza 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 de 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 bastantes similares a las de la regla vibratoria.

c) Compactadores de placa o de rejilla. Estos consisten en una pequeña placa de vidrio o rejilla aproximadamente 0.2 m² (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 de 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 adecuado 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.

PRÁCTICAS 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 cuando el concreto está ya consolidado

Generalmente el vibrador 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, 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 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 $1\frac{1}{2}$ veces el radio de acción, siempre que el área visible afectada por el vibrador se empalme en algunos centímetros con el área adyacente previamente vibrada. (En losas el vibrador puede inclinarse hacia la horizontal no necesario para que opere en una posición completamente sumergida). El vibrador no deberá introducirse a menos 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 aun plástica con el fin de evitar juntas frías. Si la capa inmediata inferior se ha endurecido mas allá del límite en que puede penetrar el vibrador, aun podrá obtenerse la incorporación mediante vibrado total 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 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, mezclando 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 quede 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 conseguido 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 vibración 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 húmedas 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

Las dimensiones 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 a 2.4 m. Si esta distribución de los vibradores no produce una vibración satisfactoria, éstos deberán situarse de manera tal que se obtenga 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 insuficiencia de 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 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 (15 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.

Otros procedimientos que han 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 afectarse al reemplazar 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 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 dentro hacia fuera puede originar que la cimbra bombee aire dentro del concreto, especialmente en los 50 o 1000 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 vibrador 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 vibrador 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 por que se hecha 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 de ángulos al azar, son causas 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 la 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 este libre de panales de abeja aún contiene 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 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 las inmersiones de los vibradores internos deberán 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 para 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 aquellos que se aplican en espesores gruesos, tienden a retener el aire y las burbujas de agua, y, por lo tanto, deben evitarse.

Los vibradores de cimbra tienden a mover el mortero hacia la cimbra y cuando se usan en combinación con vibradores internos se 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 (un 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 aquellos 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

Estas son líneas oscuras. Comúnmente indican que cuando vibro una capa, el vibrador no penetró la superficie en la capa inferior.

6.7 Falta de vibración 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 tan fácilmente susceptible al exceso de vibrado. Consecuentemente, si hay alguna duda de haber logrado una consolidación adecuada, está deberá resolverse con un vibrado adicional.

El exceso de vibrado puede ocurrir debido a un 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 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 esta.

CURADO DEL CONCRETO.

1. INTRODUCCIÓN

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 pueden llevar a cabo las propiedades deseadas del concreto, una de estas propiedades son resistencia potencial y durabilidad, las cuales se desarrollarán totalmente solo si el concreto se cura en forma adecuada durante un periodo 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 cantidad de agua con el que se elabora el concreto es suficiente, e inclusive mas 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 llevaria 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 colar el concreto en sub-bases secas se remedia humedeciendo esta al 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

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 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 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. En 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 de que la reacción es mayor a temperaturas elevadas, existen algunas evidencias de que el curado a temperaturas superiores a los 66 grados centígrados no es tan benéfico como el 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 curado 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 la de los concretos similares curados a más bajas temperaturas durante este periodo inicial. El evitar que el concreto adquiera temperaturas elevadas durante el curado no solo ayudará a reducir la cantidad de agrietamientos durante el enfriamiento si no 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 periodo de servicio. Es deseable mantener una temperatura razonablemente uniforme en toda la masa del concreto.

MÉTODOS Y MATERIALES DE CURADO.

2.1 ALCANCE

Este capítulo describe los principales métodos o procedimientos para la protección y el curado del concreto, así como de los materiales utilizados con mayor frecuencia para ese propósito. Existen varios materiales y procedimientos disponibles para emplearse en condiciones y productos de concreto 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 recubrimientos 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 INMERSIÓN.

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 estar más de 11 grados centígrados más fría que el concreto debido a los esfuerzos por cambios de temperaturas que se originarían con el agrietamiento consiguiente.

2.2.2 ROCÍOS O RIESGO DE AGUA.

El riesgo de agua por medio de boquillas o dispositivos de riesgo 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 la superficie del concreto durante el curado. Los dispositivos de riego giratorios resultan efectivos cuando no existe el problema de que el agua se oscurezca fuera del área por curar. La desventaja del riego es el costo de 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 del 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, ALGODÓN O YUTE.

Las mantas de estopa, algodón o yute, al igual que otras cubiertas de materiales absorbentes, conservan el agua en la superficie, ya sea horizontal o verticalmente. Las mantas de estopa no deben 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 enjuagarse con agua para remover las sustancias 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 riesgos 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 estar libre de partículas mayores de una pulgada y no deben contener materias orgánicas u otras sustancias que puedan dañar el 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 puede 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 telas 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 ser por los menos de 15 cm. de espesor.

2 3 MATERIALES SELLADORES

Los materiales selladores son hojas o membranas colocadas sobre 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 periodo 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 PELICULA PLASTICA

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 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 del espesor de esta. 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 de 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. Esta compuesto por dos pliegos de papel Kraft unidos entre si 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 MAMBRANAS 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 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 agua (ASTM C 156-65). Los valores usuales de cobertura oscilan entre los 3.5 y 5 m²/lt. El compuesto puede aplicarse por medio de aspersión manual o por un distribuidor mecánico, normalmente a una presión de 5 a 7 kgf/cm². 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 que 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 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 formula 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 cero grados centígrados se puede asegurar aislándolo con capas de un material seco o 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 hornillo portátil o de otro dispositivo similar. Deben ponerse especial cuidado en evitar que las cimbras se incendien; los calentadores deben contar con ventilación a fin de 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 de suelo o alrededor de otros tipos de estructuras, pueden calentarse por medio de calentadores ambientales o con vapor, pero debe tenerse cuidado de 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 cual 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 al curado bajo condiciones climatológicas templadas, pero no resultan suficientes como aislantes térmicos si se usan en la manera habitual en las temperaturas bajo cero.

Siempre que el promedio de temperatura no baja de -4 grados centígrados las mantas de algodón secas proporcionarían 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.

2.4 CURADO CON VAPOR A ALTA PRESIÓN

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 cemento ligero celular.

2.5 CURADO CON VAPOR A BAJA PRESIÓN (O A PRESIÓN ATMOSFÉRICA)

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.

2.6 CURADO EN CLIMA CÁLIDO.

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.

2.7 CURADO EN CLIMA FRÍO

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.

2.8 EVALUACIÓN 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 variables que resulta muy difícil establecer, a no ser de forma general, cual procedimiento es el más efectivo o cual 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 y 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 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 de 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 de 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 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 juega 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.

2.9 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA DURACIÓN DEL CURADO

Los factores económicos deben considerarse al decidir cuando terminar con el curado. Los beneficios del curado se comparan contra factores tales como costo, disponibilidad de los medios del 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 curadas 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 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 CONSTRUCCIÓN

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 origina 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 sea materiales selladores o un curado continuo efectuado bajo mantas húmedas de estopa, algodón, 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 permanecer 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 periodo inicial del curado pueden dejarse en su lugar y mantenerse saturadas de agua hasta la terminación del curado, o pueden removerse al finalizar el periodo inicial de curado, en este caso 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 DURACIÓN 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 mejor. 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 ALCANCES

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 DURACIÓN Y PROTECCIÓN 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 período que resulte más corto. Si el concreto es colocado a una temperatura ambiente de 4 grados centígrados o más 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/cm² o más), los períodos de curado 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, deberá 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 tome 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/m³. 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 forzadas de grandes dimensiones, como presas, en donde el criterio de diseño es tal que se hace necesario establecer una temperatura razonablemente uniforme en toda la masa tan pronto como resulta posible hacerlo después de la colocación 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, con 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 MÉTODOS Y DURACIÓN 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 cimbrado 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 se vuelva a iniciarse o hasta que termine el periodo 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 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 desmoldados. Los canales, las vigas T simple 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 CONSTRUCCIÓN VERTICAL CON CIMBRAS DESLIZANTES

Las cimbras, 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, reconstrucciones con cimbra específicos de este tipo de construcción. Los muros para las construcciones con cimbra deslizante, por ejemplo, reciben un curado corto inicial desde la cimbra. Tal vez no sea conveniente usar 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 conservarias húmedas continuamente por lo menos durante 7 días. Resulta convenientemente aplicar membrana 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, aproximadamente 2.4 m²/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. Puede 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 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 haya 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 esta no fluya sobre la superficie

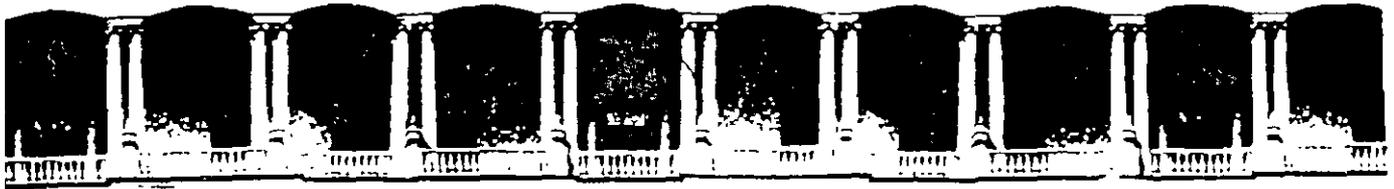
3.5.5 "CASCARONES"

Los "cascarones" delgados son extraordinarios 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/m³ 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.



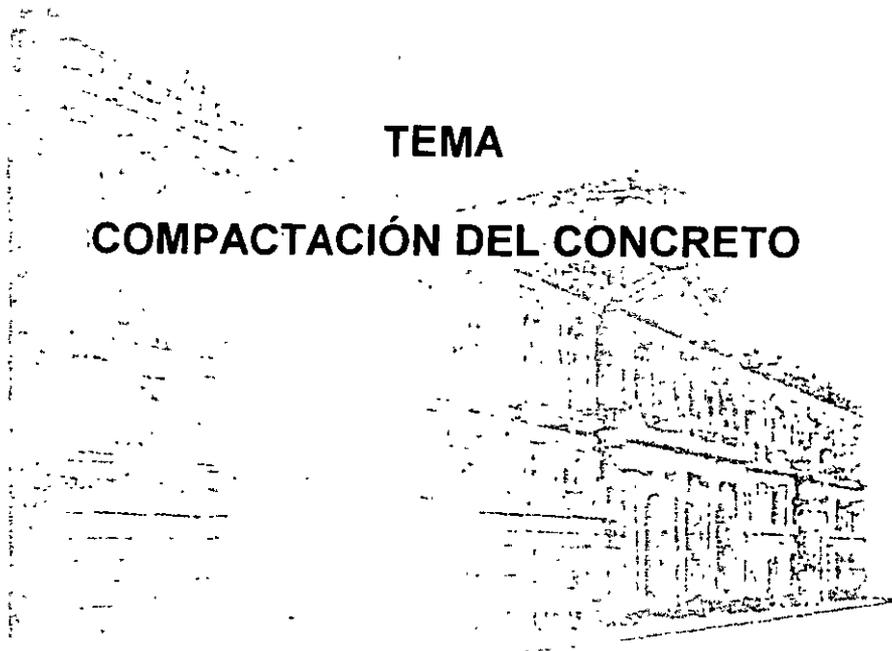
**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

COMPACTACIÓN DEL CONCRETO



**CONFERENCISTA
ING. EVODIO VICENTE RODRÍGUEZ
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

COMPACTACIÓN DEL CONCRETO

ING. EVODIO VICENTE RODRÍGUEZ

1. INTRODUCCIÓN:

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 irremediablemente 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 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 vibraciones 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 COMPACTACIÓN

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 del 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 del agregado, para lograr un uso 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 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 del revenimiento debido a la alta temperatura, fraguado falso, retrasos y otras causas.

3. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Debe de 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 necesario 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 puede ser interna o externa. Los compactadores de potencia pueden utilizarse para 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.

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. COMPACTACIÓN DEL CONCRETO MEDIANTE VIBRACIÓN

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 encuentran 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 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 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 él considerarlo en dos etapas: la primera que comprende el principio desplome o "revenido" del concreto, y la segunda una deaereación (eliminación de las 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, 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 estos 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, 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 aquellas cercanas al vibrador se eliminan antes que aquellas 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, 50 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 cabezas 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 engrane 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 de 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 minutos (60 ciclos por segundo). 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 un motor 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, el motor de aire se halla generalmente dentro de la cabeza del vibrador. El 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, 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 airear el concreto.

El radio de acción, y por lo tanto el espaciamiento de las inserciones, depende no solamente de las partículas 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 espas, 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 del cable conductor (de acuerdo con la longitud necesaria). Para vibradores de aire deberán fijarse los requisitos de aire comprimido en kg/cm^2 (lbs/pulg^2) y m^3/min (pies^3/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 Vibrador 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 neumáticamente 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 1 000 a 5 000 ciclos por min. (20 a 80 Hz).

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 producen 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 cimbra para dar una consolidación adecuada.

1. Para revolturas plásticas, en cimbras para vigas y muros: Fuerza centrífuga = $0.5 [(\text{peso de la cimbra}) + 0.2(\text{peso del concreto})]$
2. Para revolturas rígidas en tuberías y otras formas rígidas: Fuerza centrífuga = $1.5 [(\text{peso de la cimbra}) + 0.2(\text{peso del concreto})]$

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 y otro aparato adecuado. De estos valores se puede calcular la aceleración actuante. Las aceleraciones convenientes para vibradores de cimbra se hallan 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 molde 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 concreto 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 el cual imparte rotación nociva al concreto. Estos puede evitarse con instalar dos vibradores uno junto al otro, de tal manera 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 utiliza 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 de 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 bastantes similares a las de la regla vibratoria.

c) Compactadores de placa o de rejilla. Estos consisten en una pequeña placa de vidrio o rejilla aproximadamente 0.2 m² (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 de 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 adecuado 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.

PRÁCTICAS 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 cuando el concreto está ya consolidado.

Generalmente el vibrador 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, 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 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 ½" veces el radio de acción, siempre que el área visible afectada por el vibrador se empalme en algunos centímetros con el área adyacente previamente vibrada. (En losas el vibrador puede inclinarse hacia la horizontal no necesario para que opere en una posición completamente sumergida). El vibrador no deberá introducirse a menos 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 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 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, mezclando 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 quede 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 conseguido 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 vibración 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 húmedas 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

Las dimensiones 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 a 2.4 m. Si esta distribución de los vibradores no produce una vibración satisfactoria, éstos deberán situarse de manera tal que se obtenga 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 insuficiencia de 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 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 (15 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.

Otros procedimientos que han 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 afectarse al reemplazar 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 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 dentro hacia fuera puede originar que la cimbra bombee aire dentro del concreto, especialmente en los 50 o 1000 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 vibrador 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 vibrador 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 por que se hecha 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 de ángulos al azar, son causas 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 la 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 este libre de paneles de abeja aún contiene 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 revolutura de concreto, localización del colado y otros factores. Donde no se utiliza equipo y procedimientos adecuados, o hay 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 las inmersiones de los vibradores internos deberán 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 para su regatón; aún 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 aquellos que se aplican en espesores gruesos, tienden a retener el aire y las burbujas de agua, y, por lo tanto, deben evitarse.

Los vibradores de cimbra tienden a mover el mortero hacia la cimbra y cuando se usan en combinación con vibradores internos se ha comprobado su efectividad, para reducir el tamaño y número de huecos de aire en al 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. (un 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 aquellos deficientes en tamaño entre el núm. 50 a 100 (0.297 a 0.149 mm) y menores del num. 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.

Estas son líneas oscuras. Comúnmente indican que cuando vibro una capa, el vibrador no penetró la superficie en la capa inferior.

6.7 Falta de vibración 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 tan fácilmente susceptible al exceso de vibrado. Consecuentemente, si hay alguna duda de haber logrado una consolidación adecuada, está deberá resolverse con un vibrado adicional.

El exceso de vibrado puede ocurrir debido a un 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 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 sería de aire incluido es sumamente improbable.

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

CURADO DEL CONCRETO.

1. INTRODUCCIÓN

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 pueden llevar a cabo las propiedades deseadas del concreto; una de estas propiedades son resistencia potencial y durabilidad, las cuales se desarrollarán totalmente solo si el concreto se cura en forma adecuada durante un periodo 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 cantidad 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 al 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

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 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 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. En 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 de que la reacción es mayor a temperaturas elevadas, existen algunas evidencias de que el curado a temperaturas superiores a los 66 grados centígrados no es tan benéfico como el 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 curado 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 la de los concretos similares curados a más bajas temperaturas durante este periodo inicial. El evitar que el concreto adquiera temperaturas elevadas durante el curado no solo ayudará a reducir la cantidad de agrietamientos durante el enfriamiento si no 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 periodo de servicio. Es deseable mantener una temperatura razonablemente uniforme en toda la masa del concreto.

METODOS Y MATERIALES DE CURADO.

2.1 ALCANCE.

Este capítulo describe los principales métodos o procedimientos para la protección y el curado del concreto, así como de los materiales utilizados con mayor frecuencia para ese propósito. Existen varios materiales y procedimientos disponibles para emplearse en condiciones y productos de concreto 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 recubrimientos 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 INMERSIÓN.

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 estar más de 11 grados centígrados más fría que el concreto, debido a los esfuerzos por cambios de temperaturas que se originarían, con el agrietamiento consiguiente.

2.2.2 ROCIOS O RIESGO DE AGUA.

El riesgo de agua por medio de boquillas o dispositivos de riesgo 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 la superficie del concreto durante el curado. Los dispositivos de riego giratorios resultan efectivos cuando no existe el problema de que el agua se oscorra fuera del área por curar. La desventaja del riego es el costo de 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 del 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, ALGODÓN O YUTE.

Las mantas de estopa, algodón o yute, al igual que otras cubiertas de materiales absorbentes, conservan el agua en la superficie, ya sea horizontal o verticalmente. Las mantas de estopa no deben 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 enjuagarse con agua para remover las sustancias 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 riesgos 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 estar libre de partículas mayores de una pulgada y no deben contener materias orgánicas u otras sustancias que puedan dañar el cemento, retardando o destruyendo sus propiedades de fraguado.

2.2.5 ARENA Y ASERRIN.

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 puede 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 telas 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 ser por los menos de 15 cm. de espesor.

2.3 MATERIALES SELLADORES.

Los materiales selladores son hojas o membranas colocadas sobre 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 periodo 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 PELICULA PLASTICA.

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 sustancia 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 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 del espesor de esta. 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 de 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. Esta compuesto por dos pliegos de papel Kraft unidos entre si 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 MAMBRANAS 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 formula 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 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 agua (ASTM C 156-65). Los valores usuales de cobertura oscilan entre los 3.5 y 5 m²/lt. El compuesto puede aplicarse por medio de aspersión manual o por un distribuidor mecánico, normalmente a una presión de 5 a 7 kgf/cm². 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 que 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 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 formula 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 cero grados centígrados, se puede asegurar aislándolo con capas de un material seco o 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 hornillo portátil o de otro dispositivo similar. Deben ponerse especial cuidado en evitar que las cimbras se incendien; los calentadores deben contar con ventilación a fin de 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 de suelo o alrededor de otros tipos de estructuras, pueden calentarse por medio de calentadores ambientales o con vapor, pero debe tenerse cuidado de 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 cual 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 al curado bajo condiciones climatológicas templadas, pero no resultan suficientes como aislantes térmicos si se usan en la manera habitual en las temperaturas bajo cero.

Siempre que el promedio de temperatura no baja de - 4 grados centígrados, las mantas de algodón secas proporcionarían 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.

2.4 CURADO CON VAPOR A ALTA PRESIÓN.

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 cemento ligero celular.

2.5 CURADO CON VAPOR A BAJA PRESIÓN (O A PRESIÓN ATMOSFÉRICA).

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.

2.6 CURADO EN CLIMA CÁLIDO.

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.

2.7 CURADO EN CLIMA FRÍO.

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.

2.8 EVALUACIÓN 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 variables que resulta muy difícil establecer, a no ser de forma general, cual procedimiento es el más efectivo o cual 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 y 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 evaluar sus aceptaciones en el mercado. Sobre el curado de pavimentos de concreto, el Highway Research Board Committee MC-B4 preparo 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 nebulización o rocíos, anegamiento o cubiertas húmedas. Tales métodos resultan satisfactorios solo mientras la presencia de 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 de 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 través den 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 juega 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.

2.9 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA DURACIÓN DEL CURADO.

Los factores económicos deben considerarse al decidir cuando terminar con el curado; los beneficios del curado se comparan contra factores tales como costo, disponibilidad de los medios del 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 curadas 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 reforzados, 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 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 CONSTRUCCIÓN

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 origina 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 sea materiales selladores o un curado continuo efectuado bajo mantas húmedas de estopa, algodón, 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 permanecer 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, 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 DURACIÓN 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 mejor. 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 ALCANCES

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 DURACIÓN Y PROTECCIÓN 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 período que resulte más corto. Si el concreto es colocado a una temperatura ambiente de 4 grados centígrados o más 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/cm² o más), los períodos de curado 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, deberá 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 tome 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/m³. 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 forzadas de grandes dimensiones, como presas, en donde el criterio de diseño es tal que se hace necesario establecer una temperatura razonablemente uniforme en toda la masa tan pronto como resulta posible hacerlo después de la colocación 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, con 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 MÉTODOS Y DURACIÓN 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 cimbrado 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 se 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 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 desmoldados. Los canales, las vigas T simple 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 periodos 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 CONSTRUCCIÓN ESPECIALES

3.5.1 CONSTRUCCIÓN VERTICAL CON CIMBRAS DESLIZANTES

Las cimbras, 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, reconstrucciones con cimbra específicos de este tipo de construcción. Los muros para las construcciones con cimbra deslizante, por ejemplo, reciben un curado corto inicial desde la cimbra. Tal vez no sea conveniente usar 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 convenientemente aplicar membrana 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, aproximadamente 2.4 m²/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. Puede 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 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 haya 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 esta no fluya sobre la superficie.

3.5.5 "CASCARONES"

Los "cascarones" delgados son extraordinarios 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/m³ 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**

CURSOS ABIERTOS

**CONTROL Y VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL
CONCRETO HIDRÁULICO**

TEMA

ANTE PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA

**CONFERENCISTA
ING. CARLOS GÓMEZ TOLEDO
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

ANTEPROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - CONCRETO
HIDRAULICO - ESPECIFICACIONES.

BUILDING INDUSTRY - HIDRAULIC CONCRETE-
SPECIFICATIONS.

NOM-C-155-1987

(Esta norma cancela a la NOM-C-155-1984)

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos que debe cumplir el concreto hidráulico dosificado en masa utilizado en la construcción.

No abarca las especificaciones para la colocación, compactación, curado y manejo del concreto.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las Normas Oficiales Mexicanas en vigor siguientes:

- NOM-C-1 Industria de la Construcción - Cemento portland.
- NOM-C-2 Industria de la Construcción - Cemento portland puzolana.
- NOM-C-83 Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
- NOM-C-109 Industria de la Construcción - Concreto - Cabeceo de especímenes cilíndricos.
- NOM-C-111 Industria de la Construcción - Concreto - Agregados - Especificaciones.

- NOM-C-122 Industria de la Construcción - Agua para concreto.
- NOM-C-146 Industria de la Construcción - Aditivos para concreto - Puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento portland.
- NOM-C-156 Industria de la Construcción - Concreto fresco -- Determinación del revenimiento.
- NOM-C-157 Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.
- NOM-C-160 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.
- NOM-C-161 Muestreo del concreto fresco.
- NOM-C-162 Industria de la Construcción - Concreto - Determinación del peso unitario, cálculo de rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.
- NOM-C-175 Cemento portland de escoria de alto horno.
- NOM-C-200 Aditivos inclusores de aire para concreto.
- NOM-C-251 Industria de la Construcción - Concreto - Nomenclatura de términos empleados en la Industria de la construcción.
- NOM-C-255 Industria de la Construcción - Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las definiciones siguientes:

3.1 Concreto premezclado

Es el concreto hidráulico, dosificado y mezclado por el fabricante, el cual se entrega al consumidor, para su utilización en estado plástico.

3.2 Consumidor

Es el propietario de la obra, su representante o el contratista que compra concreto a un productor o fabricante.

3.3 Fabricante

Es el contratista, sub-contratista, proveedor o productor especializado que suministra el concreto premezclado.

3.4 Diseño o proporcionamiento

Es el conjunto de las cantidades de materiales calculadas en masa por unidad de volumen de concreto para lograr las características deseadas.

3.5 Revoltura o carga

Es el volumen total de concreto contenido en el recipiente de mezclado o agitado.

4 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CONCRETO HIDRAULICO

4.1 Resistencia

Cuando la resistencia es la base de la aceptación del concreto, se deben elaborar especímenes de acuerdo con la NOM-C-160 (véase 2).

El número de muestras debe estar de acuerdo con lo indicado en el inciso 9, que considera para la prueba de resistencia como mínimo dos especímenes a la edad especificada de la muestra obtenida según la NOM-C-161 (véase 2).

El resultado de una prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes, excepto que si en algunos de ellos se observó una deficiencia de muestreo, elaboración, manejo, curado o prueba, no se toman en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes debe ser considerado como el resultado de la prueba.

El que se obtenga una resistencia inferior a la especificada, no es motivo para rechazar el espécimen.

Para cumplir los requisitos de resistencia de esta norma, con un nivel de confianza del 98% los resultados de las pruebas de resistencia, deben cumplir con los requisitos que se indican.

4.1.1 Grado A

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia a compresión tengan valor inferior a la resistencia especificada f_c' . Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia a compresión consecutiva será inferior a la resistencia especificada. Además, se debe cumplir con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la tabla 1.

4.1.2 Grado B

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia a compresión, tengan valores inferiores a la resistencia especificada.

Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) No mas del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia a compresión consecutiva, será inferior a la resistencia especificada.

Además, se debe cumplir con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la tabla 1.

NOTA 1.- Debido a la variación en los materiales, operaciones y pruebas, a la resistencia promedio para alcanzar estos requisitos debe ser considerablemente mas alta que la resistencia especificada. Esta resistencia es mas alta a medida que las variaciones aumentan y mas baja en la medida que éstas disminuyen (ver 12 y fig 1).

Para eliminar la ocurrencia de resultados excesivamente bajos es conveniente tener como valor máximo para operación de producción de concreto una desviación estándar (s) de 35 kg/cm^2 en caso de resistencia a la compresión.

Una planta que cubra los requisitos de operación y materiales enunciados en esta norma, obtendrá generalmente valores de " s " alrededor de 25 a 40 kg/cm^2 ; a medida que los valores de " s " sean menores, logrará con economía reducir la probabilidad de resultados bajos. Este valor " s " debe calcularse utilizando información de una sola clase de concreto surtida por una sola planta con mas de 100 valores de pruebas de resistencia de muestras tomadas al azar por un mismo laboratorio y cubriendo un período lo mas amplio posible cuando se trata del caso de productor y con mas de 30 valores cuando se trata de una sola obra específica.

4.1.3 De acuerdo con los métodos comunes de diseño, es recomendable utilizar concreto grado A, cuando se diseñe por el método de esfuerzos de trabajo, pavimentos y usos genera-

les y concreto grado B, cuando se diseñe por el método de resistencia última, para concreto presforzado y para estructuras especiales.

4.1.4 Criterio de aceptación para un número de pruebas insuficientes.

Quando el número de pruebas es insuficiente (menos de 30), para el cálculo del promedio de pruebas consecutivas establecidas según la calidad del concreto, todos los promedios de pruebas consecutivas posibles de resultados obtenidos, deben ser igual o mayor que las cantidades indicadas en la tabla 1 (fp mín).

TABLA 1. Valores fp mín

Número de pruebas Consecutivas	Para concreto grado A resistencia a compresión kg/cm ² promedio	Para concreto grado B resistencia a compresión kg/cm ² promedio
1	fc' - 50	fc' - 35
2	fc' - 28	fc' - 13
3	fc' - 17	fc'
4	fc' - 11	
5	fc' - 7	
6	fc' - 4	
7	fc'	

Cada uno de estos valores se calculó utilizando las siguientes expresiones:

$$fp \text{ mín} = fc' - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{20} \right) : \text{Para concreto grado "A"}$$

$$fp \text{ mín} = fc' - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{10} \right) : \text{Para concreto grado "B"}$$

En donde:

fp mín = Valor mínimo aceptable del promedio de pruebas consecutivas, kg/cm²

fc' = Resistencia a la compresión especificada, kg/cm²

$$t_{10} = 1.282$$

$$t_{20} = 0.842$$

$$t_1 = 2.326$$

s = Desviación estándar para resistencia a la compresión, 35 kg/cm²

n = Número de pruebas consecutivas

4.2 Tamaño máximo nominal del agregado

El concreto de la muestra obtenida, como se indica en la NOM-C-161 (véase 2), debe pasar por las cribas indicadas en la tabla 2.

No debe retenerse mas del 5% en masa del concreto en la criba que se fije como tamaño máximo nominal del agregado del concreto. (Tabla 2, columna B).

4.3 Revenimiento

Cuando no existan especificaciones al respecto, se deben aplicar las tolerancias indicadas en la tabla 3.

TABLA 2

A	B
Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Abertura nominal de la criba (mm)
50	75
40	50
25	40
20	25
13	20
10	15

TABLA 3

Revenimiento especificado en cm	Tolerancias en cm
menos de 6	+ 1.5
de 6 a 12	+ 2.5
más de 12	+ 3.5

En caso de que el revenimiento sea inferior al límite especificado, se puede aceptar el concreto si no existen dificultades para su colocación.

Cuando se llegue al lugar de la obra y el revenimiento del concreto sea menor que el solicitado incluyendo su tolerancia, el fabricante puede agregar agua para obtener un revenimiento dentro de los límites requeridos, mezclando adicionalmente para cumplir con los requisitos de uniformidad especificados (véase tabla 6). Para lo cual la olla o las aspas deben girar 30 revoluciones adicionales como mínimo a la velocidad de mezclado. Es conveniente no llevar el revenimiento arriba del solicitado. Además no se debe añadir agua a la revolvedora posteriormente.

4.3.1 El revenimiento del concreto debe estar dentro de los valores permisibles, durante los primeros 30 minutos, medidos a partir de que llega a la obra, a excepción del primer y último medio m³. El período máximo de espera en el sitio de entrega es de 30 minutos a la velocidad de agitación. En caso de que la entrega se haga en equipo no agitador puede reducirse el tiempo de espera, de común acuerdo entre el fabricante y el consumidor (véase 8).

4.3.2 En el momento de la entrega, la aceptación o rechazo del concreto, debe hacerse en base a la prueba de revenimiento

Si existe dudo sobre el primer valor obtenido, se puede solicitar una segunda prueba, la que debe hacerse inmediatamente con otra porción de la misma muestra o de otra muestra de la misma entrega, la cual es definitiva para aceptación o rechazo.

En caso de una segunda falla, debe considerarse que el concreto no ha cumplido con los requisitos de esta especificación y el consumidor se responsabiliza íntegramente de su utilización, en caso de aceptar el mismo.

4.4 Volumen

La base de la medición del concreto debe ser el metro cúbico de concreto fresco tal como se descarga en el sitio de entrega.

El volumen de una carga establecida de concreto recién mezclado, debe determinarse a partir de la masa total de los materiales de la mezcla, dividido entre la masa unitaria del concreto mismo. La masa total de la mezcla puede ser calculada, ya sea como la suma de las masas de los materiales, inclusive el agua de toda la mezcla o como la masa neta, tal como se entrega.

La masa unitaria debe determinarse según NOM-C-162 (véase 2) y debe ser el promedio de por lo menos 3 determinaciones, cada una efectuada en una muestra obtenida de diferentes entregas con el mismo equipo y operador.

Las muestras deben tomarse según el procedimiento en la NOM-C-161 (véase 2).

El volumen suministrado determinado como se indicó, se puede aceptar con una tolerancia de $\pm 1\%$ en relación con la nota de pedido.

NOTA 2.- Debe entenderse que el volumen de concreto endurecido puede ser o aparentar ser menor que el suministrado debido al desperdicio, derrame sobre excavaciones, ensanchamiento o falta de calafateo en las cimbras, alguna pérdida de aire incluido, asentamiento de las mezclas húmedas y evaporación del agua, lo cual no es responsabilidad del productor.

4.5 Temperatura

En el caso de climas fríos el consumidor debe procurar mantener la temperatura del concreto arriba de los límites indicados en la tabla 4.

La temperatura máxima del concreto producido con materiales calentados no debe exceder de 305 K (32°C) en el momento de la producción.

TABLA 4

Temperatura ambiente		Temperatura mínima del concreto			
		Secciones delgadas		Secciones gruesas y losas sobre pisos y concreto masivo	
K	°C	K	°C	K	°C
280 a 272	7 a -1	289	16	283	10
270 a 255	-2 a -18	291	18	286	13
Menor de 255	Menor de -18	294	21	289	16

4.6 Aire incluido

El intervalo del contenido total de aire en el concreto deberá ser fijado por el proyectista de acuerdo a las condiciones particulares de cada obra y en función de la precisión de la prueba. Se deben realizar pruebas para determinar el contenido

de aire tanto preliminar, como de rutina, con el propósito de controlar durante la construcción, por lo menos en aquellas muestras en que se obtengan cilindros de concreto.

Para mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo, según el tamaño máximo nominal de agregado, se recomiendan los porcentajes de contenido de aire total indicados en la tabla 5.

Los contenidos de aire menores a los indicados en la tabla 5 no mejoran la resistencia al congelamiento y deshielo. Contenidos superiores pueden reducir la resistencia a la compresión sin lograr una protección adicional.

TABLA 5

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Cantidad de aire recomendado (%)
50	4
40	4.5
25	5
20	6
13	7
10	8

En el momento de la entrega, la aceptación o rechazo del concreto debe hacerse en base a las pruebas de contenido de aire. Si los valores del contenido de aire caen fuera de los límites especificados, se debe proceder en forma análoga a lo indicado en el inciso 5.3.2.

5 REQUISITOS DE LOS MATERIALES

5.1 Cemento

El cemento debe cumplir con las especificaciones de las NOM-C-1

6 NOM-C-2 (véase 2).

El cemento debe ser pesado en una tolva-báscula. Cuando la cantidad de cemento de una revoltura de concreto sea igual o exceda al 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser $\pm 1\%$ de la masa requerida. Para revolturas menores donde la cantidad de cemento es menor del 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la cantidad de cemento pesado no debe ser menor que la requerida, ni mayor en 4%.

Bajo circunstancias especiales, el cemento puede ser dosificado en bolsas de masa normalizada previamente verificada; no se deben usar fracciones de bolsas de cemento a menos que se determine la masa del contenido.

5.2 Agregados

Los agregados deben cumplir con lo que se especifica en la NOM-C-111 (véase 2).

Quando los agregados se dosifiquen individualmente, la cantidad indicada por la tolva-báscula debe tener una tolerancia de $\pm 2\%$ de la masa requerida.

Quando se dosifiquen en forma acumulada y su masa sea del 30% o más de la capacidad de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 1\%$ de la masa requerida y si la masa es menor del 30%, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 0.3\%$ de la capacidad total de la báscula o de $\pm 3\%$ de la masa requerida acumulada, aceptando el valor que sea menor.

5.3 Agua

El agua de mezclado debe cumplir con lo indicado en la NOM-C-122 (véase 2).

El agua agregada debe ser medida por masa o por volumen con una tolerancia de $\pm 1\%$. Al hielo agregado se le determina su masa.

En los equipos mezcladores el agua de lavado se debe eliminar antes de cargar la siguiente revoltura de concreto.

5.4 Cuando se haga uso de aditivos, estos deben cumplir con las NOM-C-146, NOM-C-200 y NOM-C-255 (véase 2).

A las puzolanas, cenizas volátiles y aditivos en polvo se les dosifica por masa y los aditivos en pasta o líquidos se pueden dosificar, por masa o por volumen, con una tolerancia de $\pm 3\%$ de la cantidad requerida.

6 REQUISITOS PARA EL EQUIPO DE DOSIFICACION

6.1 Depósito y tolvas

Las plantas dosificadoras deben estar provistas de depósitos con compartimientos separados, adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños de agregado grueso utilizado.

Cada compartimiento del depósito debe ser diseñado y operado en tal forma que la descarga a la tolva pesadora sea sin obstáculos, eficiente con un mínimo de segregación.

Se debe contar con instrumentos de control, que pueden interrumpir la descarga del material en el momento que la tolva-báscula contenga la cantidad deseada. Esta tolva no debe permitir acumulación de residuos y de materiales que puedan modificar la tara.

6.2 Báscula

Deben tener una precisión tal que al calibrarse con carga estática la tolerancia sea de $\pm 0.4\%$ de su capacidad total.

Las básculas para dosificar los ingredientes para el concreto pueden ser de balancín o de carátula sin resortes. Se pueden aceptar otros equipos (eléctricos, hidráulicos, celdas de car-

ga) diferentes a las básculas de balancín o de carátula sin resortes, siempre y cuando cumplan con las tolerancias señaladas.

Para la verificación y calibración de las básculas se requiere de taras normalizadas. Se deben mantener limpios todos los puntos de apoyo, abrazaderas y partes de trabajo similares de la báscula. Las básculas de balancín deben estar equipadas con un indicador suficientemente sensible para mostrar movimientos cuando una masa igual al 0.1% de la capacidad nominal de la báscula, se coloque en la tolva-pesadora a partir del 10% de la capacidad de la báscula; la separación entre dos marcas debe ser cuando menos del 5% de la capacidad neta del brazo en su primera aproximación y del 4% del brazo menor en la segunda aproximación.

6.3 Medidores de agua

Los aparatos para la medición del agua añadida deben ser capaces de proporcionar a la revoltura la cantidad requerida, con la tolerancia establecida en el inciso 5.3. Deben estar arreglados de tal forma que las mediciones no sean afectadas por variaciones de presión en la tubería de abastecimiento del agua y los tanques de medición deben estar equipados con vertederos y válvulas para su calibración a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

6.4 Medidores de aditivos

El equipo de medición del aditivo debe proporcionar a la revoltura la cantidad requerida con la tolerancia establecida en el inciso 6.4 y debe contar con válvulas y vertederos para su ca-

libración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de aditivo en el dispositivo.

6.5 Mezcladoras y revolvedoras

Las mezcladoras pueden ser estacionarias o camiones mezcladores.

6.5.1 Mezcladoras estacionarias

Deben estar equipadas con una o más placas metálicas en las cuales esté claramente marcada la velocidad de mezclado de la clla o de las aspas y la capacidad máxima en términos de volumen de concreto mezclado cuando es utilizado para mezclar totalmente el concreto. Las mezcladoras estacionarias deben equiparse con un dispositivo que permita controlar el tiempo de mezclado.

6.5.2 Camión mezclador o agitador

Deben colocarse en un lugar visible del camión mezclador o agitador, una o más placas de metal, en las cuales estén claramente marcadas las capacidades de la unidad en términos del volumen, como mezclador y como agitador, la velocidad mínima de rotación de la olla, aspas o paletas.

Cuando el concreto es parcialmente mezclado como se describe en el inciso 7.2, o mezclado en camión como se describe en el inciso 7.3, el volumen de concreto no debe exceder del 63% del volumen total de la unidad.

Cuando el concreto es agitado únicamente en la unidad, como se describe en el inciso 7.1, el volumen del concreto no debe exceder del 80% del volumen total de la unidad.

7 REQUISITOS DE MEZCLADO

El concreto debe ser mezclado por medio de una de las combinacio

nes de operación que se señalan en los incisos siguientes y de acuerdo con los requisitos de uniformidad de mezclado del concreto indicados en la tabla 5.

La aprobación de las mezcladoras puede ser otorgada con el cumplimiento de cuando menos los requisitos 1, 3 y 5 indicados en la tabla antes mencionada.

7.1 Concreto mezclado en planta

Las mezcladoras deben ser operadas dentro de los límites de capacidad y velocidad designados por el fabricante del equipo. El tiempo de mezclado debe ser medido desde el momento en que estén todos los materiales en el interior de la mezcladora, incluyendo el agua.

Cuando no se hacen pruebas de uniformidad de mezclado (tabla 6), el tiempo aceptable para revolvedoras que tengan una capacidad de 1.0 metro cúbico o menos y cuyo revenimiento del concreto sea mayor de 5 cm, no debe ser menor de un minuto. Para mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo indicado debe ser aumentado en 15 segundos por cada metro cúbico o fracción de capacidad adicional.

A los concretos con revenimiento inferior de los 5 cm se debe hacer pruebas de uniformidad para determinar el tiempo de mezclado con el equipo que se vaya a emplear de acuerdo con la tabla 6.

Cuando se hayan hecho pruebas de uniformidad de mezclado y las mezcladoras sean cargadas a la capacidad estipulada para esas circunstancias en particular, el tiempo de mezclado aceptable puede ser reducido al punto en el cual un mezclado satisfactorio puede ser logrado.

7.2 Concreto mezclado parcialmente en la planta

En esta operación se inicia el mezclado del concreto en una revolvedora estacionaria y se completa en el camión mezclador. El tiempo de mezclado en la revolvedora estacionaria puede ser exclusivamente el requerido para entremezclar los ingredientes y después de cargar el camión mezclador es necesario un mezclado adicional a la velocidad de mezclado (normalmente de 10 a 12 rpm), especificado en la placa metálica del camión (véase inciso 6.5.2), para que el concreto alcance los requisitos indicados en la tabla 6. Si se requieren revoluciones adicionales en el camión mezclador previo a la descarga, estas deben desarrollarse a la velocidad de agitación indicada en la placa metálica antes mencionada (normalmente de 2 a 6 rpm). Ocasionalmente se deben hacer pruebas en el concreto para verificar que se cumplan con los requisitos de uniformidad que se indica en la tabla 6.

TABLA 6
Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto

PRUEBA	Diferencia máxima permisible en tre resultados de prueba con -- muestras obtenidas de dos por- ciones diferentes de la descar- ga (*)
1.- Masa volumétrica deter- minada según la NOM-C- 162 en kg/m ³ .	15
2.- Contenido de aire en % del volumen del concre- to determinado según la NOM-C-157 para concretos con aire incluido.	1
3.- Revenimiento: / Si el revenimiento - ≥ promedio es menor de 6 cm.	1.5
- Si el revenimiento - promedio está compren- dido entre 6 y 12 cm.	2.5
Si el revenimiento - promedio es superior a 12 cm.	3.5
4.- Contenido del agregado- grueso retenido en la - Criba G 4.75 expresado- en por ciento de la ma- sa de la muestra.	6
5.- Promedio de la resisten- cia a la compresión a 7 días de edad de cada -- muestra, expresado en - por ciento (**), deter- minado de acuerdo a la NOM-C-83.	10

(*) Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga. (Principio: del 10 al 15%; - Final: del 85 al 90% del volumen).

(**) La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia.

7.3 Concreto mezclado en camión

Cuando el concreto sea mezclado totalmente en el camión mezclador, se requieren de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado especificada (normalmente de 10 a 12 rpm, véase inciso 5.5.2).

Si se requieren revoluciones adicionales en el camión mezclador, éstas deben desarrollarse a la velocidad de agitación indicada en la placa metálica antes mencionada (normalmente de 2 a 6 rpm). En caso de duda sobre la uniformidad de mezclado, el supervisor puede realizar las pruebas indicadas en la tabla 6 y con base en los resultados, aceptar o rechazar el uso de la unidad, la cual no podrá utilizarse hasta que la condición sea corregida. Cuando se encuentre satisfactorio el mezclado de alguna revolvedora, se puede considerar el mezclado de revolvedoras del mismo diseño y con el mismo estado de aspas, igualmente satisfactorio.

8 TRANSPORTE Y ENTREGA

La descarga total del concreto se debe hacer dentro de la hora y media posterior a la introducción inicial del agua de mezclado.

En condiciones especiales de temperatura ambiente, empleo de aditivo y otros, esta limitación del tiempo de descarga puede modificarse de común acuerdo entre el fabricante y consumidor.

Cuando un camión mezclador o agitador se utiliza para transpor

tar concreto mezclado completamente en revolvedoras estacionarias, durante el transporte. la olla debe girar a la velocidad de agitación (véase inciso 7.5.2).

El concreto mezclado en planta puede ser transportado en equipo no agitador, el cual debe satisfacer los siguientes requisitos: La caja del equipo de transporte debe ser metálica, lisa e impermeable y equipada con compuertas que permitan controlar la descarga del concreto y que eviten la segregación, fuga de mortero o lechada. Se debe cubrir la caja del camión para proteger el concreto. El concreto debe ser entregado en el lugar de trabajo con un grado satisfactorio de uniformidad (véase tabla 6).

9 MUESTREO

El productor debe facilitar al comprador o al laboratorio autorizado, la toma de muestras necesarias, a fin de determinar si el concreto está produciéndose de acuerdo con los requisitos señalados en esta norma.

Las pruebas y visitas de inspección no deben interferir en la producción.

El muestreo para cada tipo de concreto, debe hacerse con la frecuencia indicada en la tabla 7, por día de colado y con el mínimo de muestras señalado para cada caso con el fin de que resulte efectivo.

TABLA 7

FRECUENCIA DE MUESTREO

Volum. de entregas (Unidad mezcladora)	Número de Muestras	
	Recomendado	Mínimo obligatorio
1	1	1
2 a 4	2	1
5 a 9	3	2
10 a 25	5	3
26 a 49	7	4
50 en adelante	9	5

Las pruebas de contenido de aire, si el concreto es con aire incluido, deben hacerse por lo menos en aquellas entregas para pruebas de resistencia a compresión.

Para la prueba de resistencia a la compresión, deben hacerse de la muestra obtenida y mezclada de acuerdo con la NOM-C-161, como mínimo 2 especímenes para probar a la edad especificada.

10 METODOS DE PRUEBA

Para verificar las especificaciones que se establecen en esta norma, se deben utilizar los métodos de prueba que se indican en las Normas Oficiales Mexicanas siguientes: NOM-C-83, C-109, C-157, C-160, C-161, C-162 y C-166 (véase 2).

11 BASES DE CONTRATACION PARA CONCRETO PREMEZCLADO

11.1 Clasificación

La contratación del concreto premezclado se clasifica en tres grupos, según la forma de como se deslindan responsabilidades del diseño entre fabricante y el consumidor, con dos grados de calidad designados como A y B (véase 4).

Los tres grupos en los que se clasifica el concreto hidráulico premezclado son:

- Grupo 1.- El consumidor asume la responsabilidad del dise
ño.

El consumidor debe especificar, además de lo indicado en el in
ciso 11.2, lo siguiente:

- a) Las fuentes probables de abastecimiento de los componentes del concreto.
- b) El contenido de cemento en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco.
- c) El contenido de agua, en litros por metro cúbico de concre
to con agregados en condición de saturados y superficial-
mente secos.
- d) Dosificación de arena y grava.
- e) Cuando se requiere el empleo de un aditivo, debe especifi
carse el tipo, el nombre y la dosificación del mismo.

El responsable de seleccionar las cantidades de los materiales que intervienen en el concreto, debe considerar los requisitos de trabajabilidad, colocación, durabilidad, textura superfi-
cial y masa unitaria en adición a aquellos de diseño estructural.

La información proporcionada por el consumidor y aceptada por el fabricante se debe archivar en la planta asignándole una llave, la cual debe incluirse en la remisión de entrega.

- Grupo 2.- El fabricante asume la responsabilidad del dise
ño.

El consumidor debe especificar los requisitos del concreto solic
itado de acuerdo al punto 11.2.

- Grupo 3.- El fabricante asume la responsabilidad del dise
ño y el consumidor fija el contenido de cemento.

El consumidor debe especificar, además de lo aplicable en el inciso 11.2, el contenido mínimo de cemento, en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco.

El contenido mínimo de cemento, debe ser mayor o igual al que se requiere ordinariamente en la resistencia, tamaño de agregado y revenimiento especificado. Esta cantidad se elige para asegurar la durabilidad bajo las condiciones de servicio esperado, así como para obtener una textura superficial y masa específica satisfactoria.

Cualquiera que sea la resistencia que alcance el concreto, no debe disminuirse la cantidad mínima de cemento especificado; sin la aprobación escrita del consumidor, no se debe considerar a los aditivos como sustitutos de una porción de la cantidad mínima de cemento especificado.

NOTA 3: Para los grupos 2 y 3, el fabricante debe proporcionar, además de lo indicado en el inciso 4, evidencia satisfactoria de que los materiales que emplea, producen un concreto de la calidad especificada según capítulo 4.

11.2 Datos de pedido

Los datos para el pedido de concreto premezclado deben ser los siguientes y aparecer además en las notas de remisión de las entregas.

- Nombre del solicitante.
- Lugar de entrega.
- Número de esta norma.
- Cantidad de metros cúbicos de concreto fresco.
- Grupo correspondiente (1, 2 ó 3).
- Resistencia especificada a compresión, kg/m².

- Grado de calidad del concreto (A ó B).
- Edad a la que se garantiza la resistencia, 28 días a me nos de que se establezca otra diferente.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Revenimiento solicitado en el lugar de entrega.

11.3 Datos opcionales para el pedido.

Opcionalmente a solicitud del consumidor, en el cuerpo del con trato de suministro, se pueden señalar los siguientes datos y aparecer en las notas de remisión de las entregas.

2. Contenido de aire en el sitio de descarga, cuando se es pecifique concreto con inductor de aire.

- Tipo o tipos requeridos de cemento, pero si no lo espe cifica el cemento empleado, queda a elección del fabri cante.

3. Uso de agregado ligero que satisfaga los requisitos del proyecto.

- Uso de aditivos.

- Uso de agregados especiales, como barita, mármol, fibra y otros.

- Requisitos adicionales a lo indicado en esta norma.

11.4 Bases de entrega y aceptación

11.4.1 Entrega

En caso de que el consumidor no esté preparado para recibir el concreto, el fabricante no tiene responsabilidad por las limi taciones de revenimiento mínimo y contenido de aire después de un período total de espera de 30 minutos a la velocidad de agitación y de aquí en adelante, el consumidor asume la respon sabilidad sobre las condiciones del concreto.

11.4.2 Aceptación

En caso de que la resistencia sea la base de aceptación y cuan do las pruebas de resistencia obtenidas por un laboratorio au torizado y en muestras obtenidas de la unidad de transporte en

el punto de entrega y realizadas siguiendo las normas correspondientes, no cumplan con las especificaciones del inciso 4.1, el fabricante de concreto y el consumidor deben entablar pláticas para llegar a un acuerdo satisfactorio. En caso de no llegar a un acuerdo, la decisión debe partir de un grupo de tres técnicos, con capacidad reconocida en la materia, uno de los cuales debe ser nombrado por el consumidor, otro por el fabricante y el tercero escogido de común acuerdo por los dos anteriores. La decisión es inapelable, excepto que se modifique por una disposición legal.

12 BIBLIOGRAFIA

Los documentos que sirvieron para la elaboración de esta norma son las siguientes:

- ASTM-C-94-86 Standard specification for ready mixed concrete.
- ACI-211-1 Recommended practices for inspection concrete.
- ACI-214 Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete.
- ACI-305 Hot weather concreting.
- ACI-306 Cold weather concreting.
- ACI-318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

Recommended Practice for Measuring the Uniformity of Concrete.

Produced in Truck Mixers N.R.M.C.A.

Concrete Plant Mixer Standards of the Concrete Manufacturers Bureau.

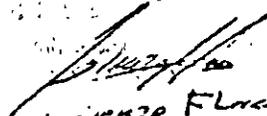
Recommendations for the treatment of the Variations of the -
Concrete Strenght, in Codes of Practices. Report of Working
groups CB/CIB/FIP/RILE/Comminttee.

Recommended Guide Specification Covering Plant and Accessory.
Equipment for Ready Mixed Concrete in Construccion for Highway.

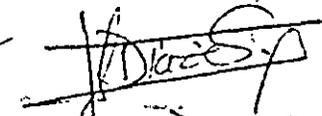
T.M.M.B: C.P.M.B. y N.R.M.C.A.


Francisco Santos Olvera
S.C.T.
Grup. Paul I. S. -


Luis A. Garcia Ch.
Grupo Taltaca S.A. de C.V.

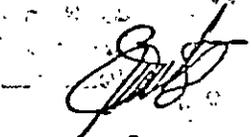

Lorenzo Flores Castro
INSPECCEC, S.A. de C.V.

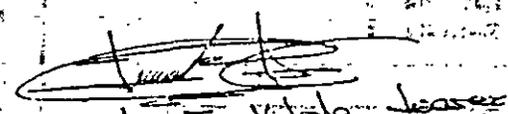

JOSE ANTONIO ANGELL J.
LABORATORIO NACIONAL DE ICS
CONSTRUCCION, S.A.

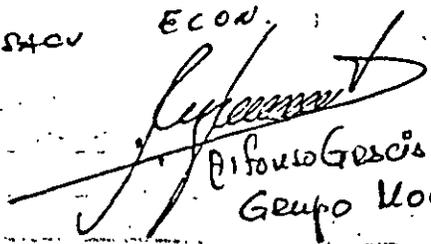

FERNANDO DIAZ S.
Latinocemilante de Concretos S.A de C.V.

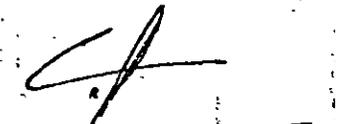

(KLAUS P. GREITHAMER)
CONCRETOS METROPOLITANOS S.A.C.V.

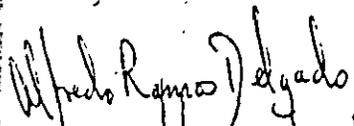

ALFREDO PEREZ V.
ECON.

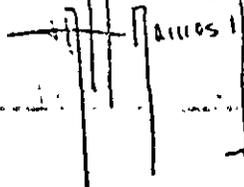

JUAN BARRIENTOS R.
ANIC - SACH.


Leonardo I. Vitela
CONVITOR. -


ALFONSO GARCIA SUAREZ
Grupo UOGS, S.A. de C.V. -

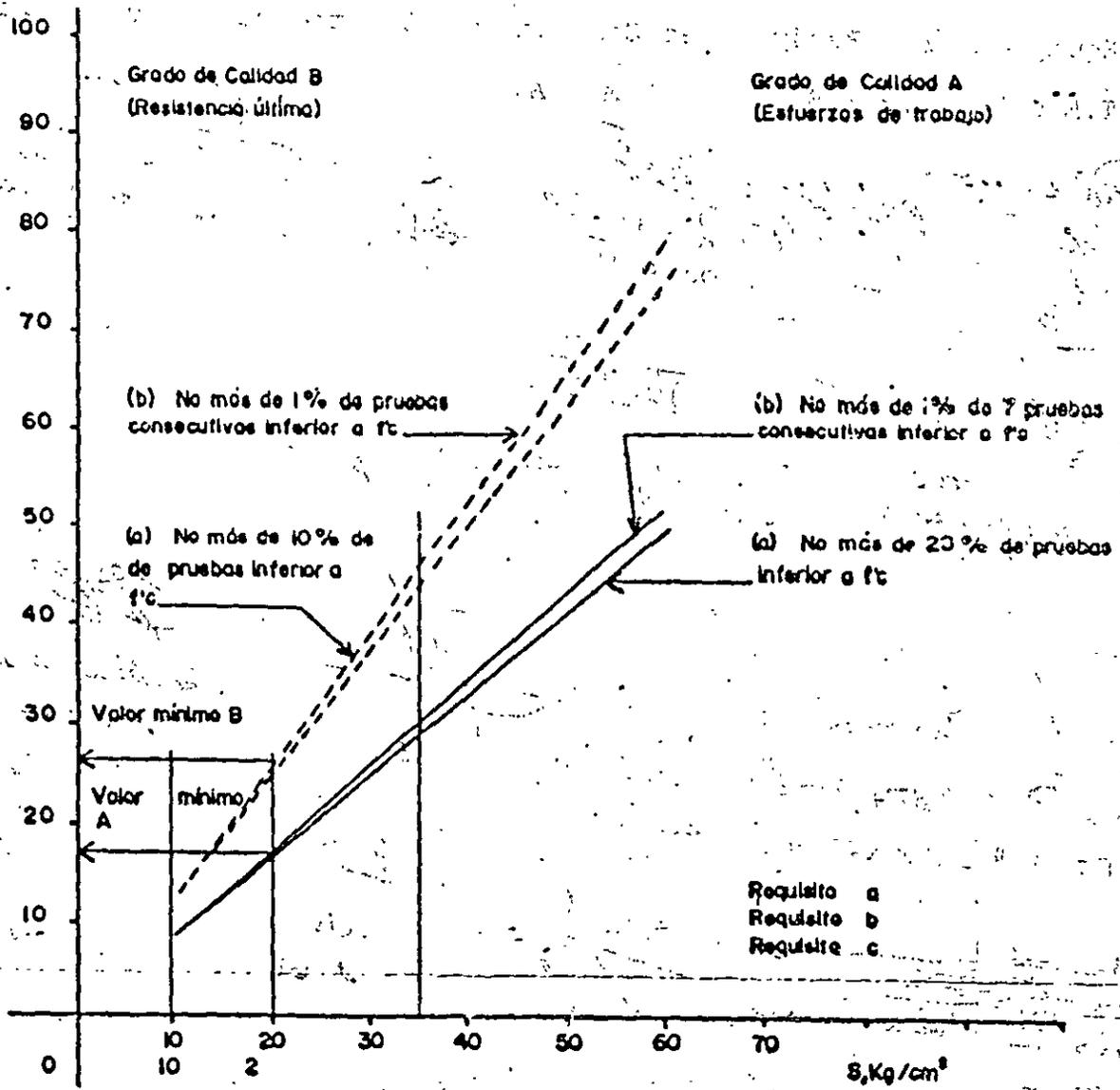

Carlos Enriquez Trig.
DINAC S.A. de C.V.


Alfredo Ramon Delgado
CANACINTRA, Depto. de Normas


Ramon

$f_{cr} - f'_c$

Resistencia promedio requerida menos
resistencia especificada
Kg/cm²



Escala no	REQUISITOS DE GRADOS DE CALIDAD	NOM
Acot no		