

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS
CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO
Del 14 al 25 de noviembre de 1994.

F E C H A	H O R A R I O	T E M A	P R O F E S O R
Lunes 14 nov.	17:00 a 20:00 hrs.	Inauguración Principios generales sobre concreto	Ing. Mario Tena Bernal
	20:00 a 21:00 hrs.	Propiedades materias primas: Cemento Propiedades materias primas: Cemento	Ing. Alberto Barrientos Rios
Martes 15	17:00 a 21:00 hrs.	Diseño y selección de mezclas de concreto Dosificación y mezclado del concreto	Ing. Mario Tena Bernal
Miércoles 16	17:00 a 20:00 hrs.	Propiedades materias primas: Arena	Ing. Jorge Dávila Ramírez
	20:00 a 21:00 hrs.	Propiedades materias primas: Agua	M.C.I. José Antonio Tena Colunga
Jueves 17	17:00 a 19:00 hrs.	Propiedades materias primas: Aditivos	M.C.I. José Tena Colunga
	19:00 a 21:00 hrs.	Transporte y colocación	Ing. Jesús T. Salgado Ortiz
Viernes 18	17:00 a 19:00 hrs.	Consolidación y curado	Ing. Juan Osorio Palma
	19:00 a 21:00 hrs.	Control de calidad NMX-C-155 y Normas obligatoria	Ing. Leonardo Vitela Juárez
Lunes 21	17:00 a 19:00 hrs.	Durabilidad del concreto	Ing. Manuel Mena Ferrer
	19:00 a 21:00 hrs.	Mesa redonda: Supervisión y certificación	Ing. Pedro Mora Pérez e invitados
Martes 22	17:00 a 19:00 hrs.	Aseguramiento de la calidad	Ing. Carlos Gómez Toledo
	19:00 a 21:00 hrs.	Metrología y mantenimiento	Ing. Jorge Dávila Ramírez
Miércoles 23	17:00 a 19:00 hrs.	Prácticas ecológicas en la producción de concreto	M.C.I. José Antonio Tena Colunga
	19:00 a 21:00 hrs.	Calidad y costos	Ing. Arturo Rodríguez Jalili
Jueves 24	17:00 a 19:00 hrs.	Elaboración de concretos especiales	Arg. Juan José Castillo
	19:00 a 21:00 hrs.	Consideraciones especiales de práctica en la construcción de elementos de concreto	Ing. Francisco Santos Oliva
Viernes 25	17:00 a 20:00 hrs.	PANEL: Factores y prácticas que afectan el costo y la calidad de las construcciones de concreto	Comité Técnico de AMIC e invitados
	20:00 a 21:00 hrs.	CLAUSURA	Especiales

EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

FECHA: DEL 14 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1994.

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACION CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
ING. MARIO TENA BERNAL				
ING. ALBERTO BARRIENTOS RIOS				
ING. JORGE DAVILA RAMIREZ				
ING. JOSE ANOTONIO TENA COLUNGA				
ING. JESUS T. SALGADO ORTIZ				
ING. JUAN OSORIO PALMA				
ING. LEONARDO VITELA JUAREZ				
ING. MANUEL MENA FERRER				
ING. PEDRO MORA PEREZ				
ING. CARLOS GOMEZ TOLEDO				
ARQ. JUAN JOSE CASTILLO				
ING. FRANCISCO SANTOS OLIVA				
ING. ARTURO RODRIGUEZ JALILI				

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

ORGANIZACION Y DESARROLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL CURSO	
ACTUALIZACION DEL CURSO	
APLICACION PRACTICA DEL CURSO	

EVALUACION DEL CURSO

CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CALIDAD DEL MATERIAL DIDACTICO UTILIZADO	

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

1.- ¿LE AGRADO SU ESTANCIA EN LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA?

SI	NO
----	----

SI INDICA QUE "NO" DIGA PORQUE.

2.- MEDIO A TRAVES DEL CUAL SE ENTERO DEL CURSO:

PERIODICO EXCELSIOR		FOLLETO ANUAL		GACETA FINAM		OTRO MEDIO	
PERIODICO EL UNIVERSAL		FOLLETO DEL CURSO		REVISTAS TECNICAS			

3.- ¿QUE CAMBIOS SUGERIRIA AL CURSO PARA MEJORARLO?

4.- ¿RECOMENDARIA EL CURSO A OTRA(S) PERSONA(S)?

SI		NO	
----	--	----	--

5.- ¿QUE CURSOS LE SERVIRIA QUE PROGRAMARA LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA.

6.- OTRAS SUGERENCIAS:



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

Del 14 al 25 de noviembre de 1994.

DIRECTORIO DE PROFESORES

- 1.- ING. ALBERTO BARRIENTOS RIOS
JEFE DE LABORATORIO
ASOCIACION MEXICANA DE LA INDUSTRIA
DEL CONCRETO, A.C.
BLVD. ADOLFO LOPEZ MATEOS No. 1135
COL. SAN PEDRO DE LOS PINOS
C.P. 01180
TEL. 515 31 54 y 272 90 11
MEXICO, D.F.
- 2.- ING. CARLOS DAVILA RAMIREZ
GERENTE TECNICO
GRUPO BALSA
ISLA No. 31
COL. ALPES
DELEG. ALVARO OBREGON
C.P. 01010
TEL. 651 49 11
MEXICO, D.F.
- 3.- ING. CARLOS GOMEZ TOLEDO
GERENTE TECNICO
CONCRETOS APASCO
CAMPOS ELISEOS No. 345
COL. POLANCO
TEL. 724 04 50
MEXICO, D.F.
- 4.- ING. VICTOR MANUEL MENA FERRER
CONSULTOR
TECNOLOGIA DEL CONCRETO
VASCO DE QUIROGA NO. 82
CD. SATELITE
TEL. 393 60 29
MEXICO, D.F.
- 5.- ING. PEDRO MORA PEREZ
GERENTE TECNICO
LATINO AMERICANA DE CONCRETOS
PROLONGACION AV. SAN ANTONIO No. 705
TEL. 611 45 50
MEXICO, D.F.
- 6.- ING. JUAN OSORIO PALMA
ASESOR TECNICO
CONCRETOS KARIMA, SA DE CV
CALLE 11 No. 197
COL. SAN JUAN XALPA
TEL. 612 64 04
MEXICO, D.F.
- 7.- ARQ. ARTURO RODRIGUEZ JALILI
GERENTE SOPORTE TECNICO
PRECONCRETO, SA DE CV
3a. CERRADA DE MINAS No. 42
COL. FRANCISCO VILLA
TEL. 626 83 04
MEXICO, D.F.
- 8.- JESUS T. SALGADO ORTIZ
GERENTE TECNICO
GRUPO BALSA
ISLA No. 31
COL. ALPES, C.P. 01010
DELEG. ALVARO OBREGON
TEL. 651 49 11
MEXICO, D.F.



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

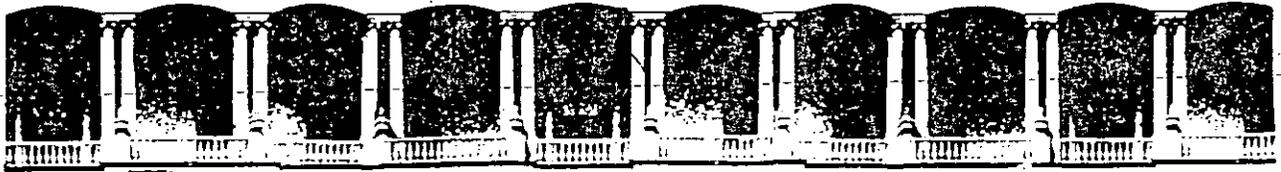
9.- M.C.I. JOSE ANTONIO TENA COLUNGA
GERENTE DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
GRUPO CONCREMET
NUEVA YORK No. 115-1er. PISO
TEL. 669 07 00
MEXICO, D.F.

10.- ING. MARIO TENA BERNAL
CONSULTOR DE TECNOLOGIA DE CONCRETO
CERRADA DE MANUEL NEGRETE No. 5
COL. NIÑOS HEROES DE CHAPULTEPEC
C.P. 03440
TEL. 579 40 82
MEXICO, D.F.

11.- ING. LEONARDO I. VITELA JUAREZ

#2.

*rgd.



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

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

PRINCIPIOS GENERALES SOBRE CONCRETO

**AUTOR: ING. LUIS GARCIA CHOWELL
EXPOSITOR: ING. MARIO TENA BERNA**

INFLUENCIA DE MATERIAS PRIMAS EN EL CONCRETO

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

II. AGREGADOS.

- a) Tamaño máximo del agregado. Deberá estar de acuerdo a lo establecido por la esbeltez, armado y método de compactación -- que se aplicará a la estructura colada, además de que a medida que aumenta el tamaño máximo del agregado disminuye la cantidad de pasta requerida por volumen unitario de concreto -- fresco.
- b) Densidad. Esta característica es muy importante dado que en algunos casos, para diseñar mezclas es base, y en caso de que se manifestara una variación en el agregado y no se tomara en cuenta la producción de concreto por m³, aumentaría o disminuiría en volumen si la densidad bajara o subiera por lo cual es necesario tener controlados los agregados en cuanto a esta característica.

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

MOLDEABLE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Curso de Control de Calidad del Concreto.
IMCYC 1985.

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

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

CONCRETO FRESCO

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

TRABAJABILIDAD

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

CONSISTENCIA

FLUIDEZ

MOVILIDAD

BOMBEABILIDAD

COMPACTABILIDAD

FACILIDAD PARA TERMINAR

ASPEREZA



TRABAJABILIDAD

FACTORES QUE AFECTAN LA TRABAJABILIDAD:

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

PRUEBAS PARA MEDIR LA TRABAJABILIDAD

- PRUEBA DE REVENIMIENTO
- PRUEBAS DE COMPACTACION
- PRUEBAS DE FLUIDEZ
- PRUEBAS DE MOLDEO
- PRUEBAS DE PENETRACION



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

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

- ADITIVOS -

ESPOSITOR: MCI. JOSE A. TENA COLUNGA



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

Propiedades de Materias Primas y su influencia en el Concreto

- ADITIVOS

Objetivo:

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

Expositor:

MCI. José Antonio Tena Colunga

1) RESEÑA HISTORICA DE LOS ADITIVOS.

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

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

Las primeras inquietudes de los usuarios del concreto fueron las de poder modificar el tiempo de fraguado y sobre todo poder acelerarlo, así como la de hacer concreto menos permeable ya que el cemento de aquella época era poco fino, aún no se habían desarrollado métodos para el cálculo de la composición y consolidación en obra eran bastante rudimentarios dado que el vibrado aún no se practicaba, sin embargo, la práctica de adicionar ciertas substancias, logró reducir la permeabilidad de los concretos razón por la que los acelerantes y los hidrófobos másicos se desarrollaron al mismo tiempo. Hacia 1895, Candlot en Francia y Dyckerhof en Alemania iniciaron la adición de cal grasa con el fin de mejorar la plasticidad; algo más tarde, en 1906, en los E.E.U.U. hicieron lo mismo para la

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

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

La comercialización de algunos productos para mejorar algunas de las cualidades del concreto data de 1910, se trataba de hidrofóbos, de acelerantes del fraguado o de hidrófugos-aceleradores del fraguado, que se añadían a los concretos destinados a la fabricación de depósitos de agua, tuberías, piscinas, etc.; así como a la confección de morteros destinados a la reparación de obras subterráneas de mampostería cuyas juntas se hubiesen deteriorado, entre las cuales se puede citar los trabajos de cinco túneles de la línea de San Gotardo. El Kieselguhr o tierra de infusorios se empleó por primera vez en 1925 en el concreto. En los E.E.U.U. los plastificantes fueron comercializados hacia 1935 en Chicago, los agentes inclusores de aire se descubrieron en los E.E.U.U. en 1939 y su utilización en Europa no empezó hasta después de la segunda guerra en 1947. En cuanto a los retardantes, aunque los efectos de ciertos productos ya eran conocidos, su comercialización tardó algún tiempo.

Rengade demostró en 1929, que mezclando un cemento sobre una lámina de zinc podían introducirse iones de Zn, que actuaban como un retardante de fraguado poderoso (1 por ciento de Zn respecto al peso del cemento, provoca un retardo importante), atribuyó a esta circunstancia, las diferencias de los tiempos de fraguado hallados en diferentes laboratorios, en los que el mezclado en unos y en otros no se hacía en mesas forradas en placas de zinc. Durante la última guerra mundial, los estudios hechos en Alemania condujeron a la utilización de un 1% de ácido fosfórico para retardar los concretos, ya que era necesario poder interrumpir los colados de las obras monolíticas de concreto durante los ataques aéreos, en esa misma época se presentó el caso de concreto que se inutilizó por la adición de azúcar en polvo que produjo un retardo indefinido.

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

ADITIVOS	
----------	--

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

CLASIFICACION Y NORMALIZACION DE LOS ADITIVOS

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

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

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

CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS.

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

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

Aditivos insolubles.

Aditivos solubles.

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

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

ADITIVOS

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

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

AGENTES QUE MODIFICAN EL CONTENIDO DE AIRE:

- Plastificantes-reductores de agua.
- Inclusores de aire.
- Excluidores de aire.
- Generadores de gas.
- Agentes de retención de agua.
- Fluidificantes-retardantes.

AGENTES QUE MODIFICAN EL FRAGUADO O EL ENDURECIMIENTO:

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

PRODUCTOS PARA INYECCIONES DE DUCTOS DE POSTENSADO:

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS:

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

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES MECANICAS:

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

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

- Reductores de agua.
- Inclusores de aire.
- Reductores de aire y de arrastre de aire.
- Polvos minerales finamente molidos para plastificar.
- Agentes floculantes o espesantes.
- Agentes de retención de agua.

ADITIVOS

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

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

AGENTES QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y

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

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

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

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES MECANICAS:

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES QUIMICAS:

AGENTES QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES BIOLÓGICAS:

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

1. Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
2. Acelerar la velocidad de resistencia a edades tempranas.
3. Aumentar la resistencia.
4. Retardar o acelerar el fraguado inicial.
5. Retardar o reducir el desarrollo de calor.
6. Modificar la velocidad o aptitud de sangrado o ambos.
7. Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
8. Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.

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

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

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

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

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

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

ADITIVOS	
----------	--

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

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

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

ADITIVOS MAS COMUNMENTE EMPLEADOS

Aditivos Reductores de Agua :

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

Aditivos Superfluidizantes o Reductores de Agua de Alto Rango :

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

Aditivos Acelerantes :

Provocan un curado mas rápido del concreto.

Aditivos Retardantes :

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

Aditivos Inclusores de Aire :

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

Cenizas Volantes (Fly-Ash) :

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

Humo de Sílice (Silica Fume) :

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

Escoria de Alto Horno :

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

Puzolanas :

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

Inhibidores de la Corrosión :

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

Aditivos Fibrosos :

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

Agentes Colorantes :

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

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

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

ADITIVOS

- . INTRODUCCION
- . TIPOS DE ADITIVOS
- . GUIA GENERAL EN EL EMPLEO DE ADITIVOS
- . CONCLUSION

ADITIVOS

TIPOS DE ADITIVOS

CLASIFICACION :

- por su funcion
- por su composicion

A C I

1 Acelerantes:

- (Fraguado/ Fraguado instantaneo)

2 Retardantes:

- (Integrales/ De superficie)

3 Incluidores de Aire.

4 Generadores de Gas.

5 Materiales Cementantes.

6 Puzolanas:

- (Naturales (sin tratamiento o activadas)/ Sinteticas (fly-ash))

7 Inhibidores de Expansion provocada por Alcalis y Materiales Reactivos.

8 Reductores de Permeabilidad y Absorcion:

- (Integrales (repelencia, compuestos insolubles, polvos finamente molidos) / De superficie (repelentes, cop. insolubles membranas))

9 Agentes Mejoradores de la Trabajabilidad:

- (Dispersantes/ Densificadores)

10 Agentes de Empaque y Relleno:

- (Estabilizadores de volumen)

11 Varios:

- (Combinaciones / Endurecedores de superficies (quimicos, metalicos, minerales) / Membranas de curado (parafinas, plasticos)/ Compuestos adhesivos (asfaltos, plasticos, epoxicos)

ADITIVOS

TIPOS DE ADITIVOS

A S T M C 494: "ADITIVOS QUIMICOS PARA CONCRETO"

Tipo A: *Reductor de Agua*

Tipo B: Retardante

Tipo C: Acelerante

Tipo D: *Reductor de Agua y Retardante*

Tipo E: *Reductor de Agua y Acelerante*

Tipo F: Reductor de Agua de Alto Rango

Tipo G: Reductor de Agua de Alto Rango y Retardante

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

NOM C - 54-71	Norma oficial de muestreo de aditivos para concreto.
NOM C - 90-81	Metodo de prueba para aditivos expansores y estabilizadores de volumen
NOM C - 117-73	Aditivos estabilizadores de volumen de concreto
NOM C - 140-73	Aditivos expansores de concreto
NOM C - 169-71	Nomenclatura de aditivos quimicos para concreto.
NOM C - 200-78	Calidad para aditivos inclusores de aire para concreto.
NOM C - 255-78	Aditivos quimicos que reducen la cantidad de agua y modifican el tiempo de fraguado.
NOM C - 298-80	Aditivos minerales - Determinacion de la efectividad para prevenir una expansion excesiva del concreto debido a la reaccion alcali-agregados.
NOM C - 313-81	Colorantes para concreto

TIPOS DE ADITIVOS

Retardantes

COMPUESTOS:

Glucuronatos, ácidos lignosulfónicos y sus sales, ácidos carboxílicos hidroxilados, ciertos almidones, ácidos mucico y adipico.

INCREMENTA O BENEFICIA

En estado plástico:

tiempo de fraguado y endurecimiento

proceso de cristalización

En estado endurecido:

resistencia a altas edades

cambios volumétricos

resistencia a la congelación/deshielo a edades posteriores

resistencia y durabilidad

susceptibilidad a expansiones por reacciones Alcali-Agregado

aumento notable en rigidez

DECREMENTA O AFECTA

En estado plástico:

disminuye sangrado

En estado endurecido:

resistencia a bajas edades

poca resistencia a congelación/deshielo a bajas edades

USOS:

- a) compensar efectos de temperatura en climas calidos;
- b) hacer colados continuos sin juntas frías;
- c) Transportar concreto a distancias considerables sin pérdida de consistencia;
- d) Reducir peligro de agrietamiento en colados de concreto en grandes masas;
- e) Permitir el revibrado de concreto;
- f) Facilitar el bombeo con impulsor neumático;
- g) Acabados aparentes;
- h) Obtención de concretos más estables volumétricamente en estructuras.

ALTERNATIVAS POSIBLES:

- 1) Empleo de cementos de bajo calor de hidratación (tipos II, IV, Pulzolánicos, Escorias de Alto Horno)
- 2) Abate temperatura del concreto dentro de ciertos límites;
- 3) Empleo de Aditivos;
- 4) Combinaciones

TIPOS DE ADITIVOS

Agentes Reductores de Agua

y

Mejoradores de la Trabajabilidad

TIPOS:

- 1) **Densificadores**
- 2) **Inclusores de Aire**
- 3) **Fluidificantes**
- 4) **Superfluidizantes**

COMPUESTOS:

- 1) **Acidos Carboxilicos Hidroxilados**
- 2) **Jabones de resina o de abietato alcalino (Na, K), lignosulfonato (Na, K), Sulfonatos de alquilarilo**
- 3) **Salas de acidos lignosulfonicos, modificaciones o derivados de ellas.**
- 4) **Condensados de formaldehido (naften o melamina) sulfonados y lignosulfonatos modificados**

INCREMENTA O BENEFICIA

En el estado plastico:

- trabajabilidad¹
- disminucion de la friccion interna en la mezcla¹
- inclusion de aire^{2,3}
- desarrollo de resistencia^{1,3,4}
- reduccion o eliminacion del sangrado^{2,3,4}
- tiempo de fraguado^{1,2,3}

En el estado endurecido:

- resistencia a la compresion¹
- resistencia a la flexocompresion^{1,3,4}
- resistencia a la congelacion/deshielo^{1,2,3}
- resistencia a la abrasion^{1,4}
- modulo de elasticidad⁴
- permeabilidad, durabilidad^{1,3,4}

DECREMENTA O AFECTA

En el estado plastico:

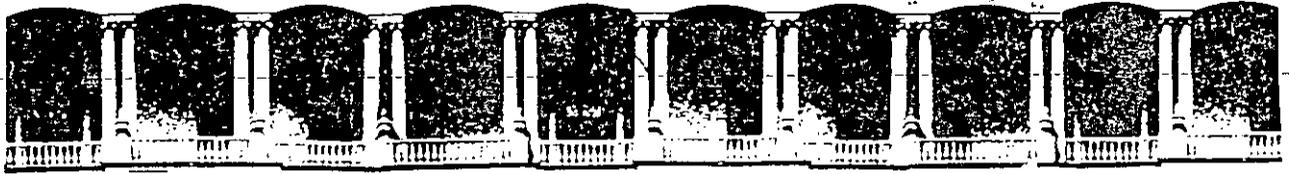
- sangrado¹
- requerimiento de agua¹
- tiempo de revenimiento⁴
- ligera disminucion en el calor de hidratacion¹

En el estado endurecido:

- resistencia menor a la 24 hrs.¹
- mayor contraccion^{1,3,4}
- mayor flujo plastico (creep)^{1,3,4}

USOS:

- a) Aumentar trabajabilidad sin aumentar consumo de cemento, agua o relacion A/C.
- b) Reducir consumo de agua con incremento de resistencia^{1,3,4}; c) Economizar cemento
- d) Mejorar durabilidad^{3,4}; e) Fabricar concretos Superfluidizados o de Alta resistencia y gran trabajabilidad⁴
- f) Acelerar el desarrollo de resistencias a edades tempranas^{3,4}



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS

AUTOR Y EXPOSITOR: ING. MARIO TENA BERNAL

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

TEMA: PROPIEDADES DE LAS MATERIAS
PRIMAS

SUBTEMA: CEMENTO

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

AUTO Y EXPOSITOR: ING. MARIO TENA BERNAL

TEMA: CEMENTO.- GENERALIDADES DESARROLLO DEL TEMA.

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

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

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

COMPUESTO	FORMULA	SIMPLIFICADA
Silicato dicálcico	$2CaOSiO_2$	C_2S
Silicato tricálcico	$3CaOSiO_2$	C_3S
Aluminatotricálcico	$3CaOAl_2O_3$	C_3A
Ferro-aluminato tetracálcico	$4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$	C_4AF

Estos compuestos representan el 90% del peso del cemento y son los que le dan sus características. El 10% restante está constituido por el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que se adiciona al clínker durante la molienda final, la cal libre (CaO), el magnesio (MgO) los álcalis totales ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) y el residuo insoluble. El silicato dicalcico (C_2S) se hidrata y endurece lentamente liberando poco calor. A sus edades su contribución al desarrollo de resistencia es nula pero a edades mayores de una semana es el responsable del desarrollo e incrementos de resistencia. El silicato tricalcico (C_3S) se hidrata y endurece rápidamente liberando mucho calor. Es el responsable en gran medida del fraguado, el endurecimiento y el desarrollo de resistencia a edades tempranas pero a grandes edades su aportación es nula. El aluminato tricalcico (C_3A) es el compuesto que se hidrata más rápidamente liberando la mayor cantidad de calor durante el fraguado y el endurecimiento. Su contribución al desarrollo de resistencia a cortas edades es poco significativo. No es deseable que este compuesto se encuentre en grandes cantidades en los cementos ya que este reacciona con los sulfatos y forma una sal polvorienta expansiva cuyo nombre es Etrignita ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$) la cual a medida que se hidrata provoca agrietamiento y desintegración del concreto. El Ferro-Aluminato tetracalcico (C_4AF) reduce la temperatura de formación del clínker, ayudando por lo tanto al proceso de manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidez pero su actividad y su contribución a las características del cemento son prácticamente nulas.

El Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que se adiciona al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C_3A . Sin yeso el fraguado del cemento sería instantáneo. La Cal libre (CaO) y el magnesio (Mg) son compuestos que es deseable se encuentren en el cemento en cantidades inferiores al 2%, ya que un exceso de ellos puede producir una expansión destructiva retardada. Los Álcalis totales ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) también se recomienda que el contenido de los mismos en un cemento de preferencia sea menor al 0.6% para minimizar las posibilidades de reacción en medio alcalino de cierto tipo de agregados.

SIMPLES

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

CEMENTOS ESPECIALES

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

MEZCLADOS PORTLAND

- Tipo IP.- Puzolánico
- De albanilería

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

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

volumen considerable como pilas, estribos y muros de contención.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DESARROLLO DEL TEMA :

El proceso de fabricación del cemento portland se inicia con la explotación adecuada de los yacimientos de materias primas. El mineral es triturado para reducir su tamaño, principalmente los materiales calcáreos, ver diagrama No.1.

El material triturado, es almacenado y luego se alimenta a los molinos de crudos para su molienda. El material crudo que sale de los molinos, pasa a ser clasificado, separandose los finos de los gruesos. Esto se realiza por clasificación neumática y su función es optimizar el proceso de molienda. Los gruesos obtenidos son alimentados nuevamente al molino, mientras que el material fino es bombeado hasta los silos homogeneizadores y de aquí a los silos de almacenamiento o depósitos.

La mezcla de crudo es alimentada desde los silos hasta el horno, para su calcinación. Esta es la etapa más importante, de la fabricación del cemento, ya que aquí es donde se forman los compuestos portland.

En el proceso de calcinación se produce una combinación casi total del CaO, de la descarbonatación de la caliza, con los óxidos : férrico, de aluminio y de silicio de la arcilla. Un buen proceso de calcinación normalmente produce un contenido de CaO libre menor del 1.5 %.

COMENTARIOS :

La clasificación según el tamaño de la partícula, realizada en el separador, se basa en el principio de decantación o ley de Stokes.

OBSERVACIONES :

DESARROLLO DEL TEMA :

El clinker producido es enfriado en mesetas o parrillas, por una corriente de aire. El clinker va frío se deposita en patios de almacenamiento, para luego ser pasado a los molinos de Cemento.

El clinker frío es molido con yeso, en molino de bolas. La rotación del molino hace que las bolas al caer compriman y friccionen la carga del clinker y yeso, que se alimenta por un extremo y se descarga por el otro.

La molienda de la mezcla de clinker y yeso es similar a la del crudo: el material fino o producto es transportado los silos de cemento, utilizando bombas neumáticas Fuller, o de banda. De los silos pasa a las máquinas envasadoras para su comercialización:

COMENTARIOS :

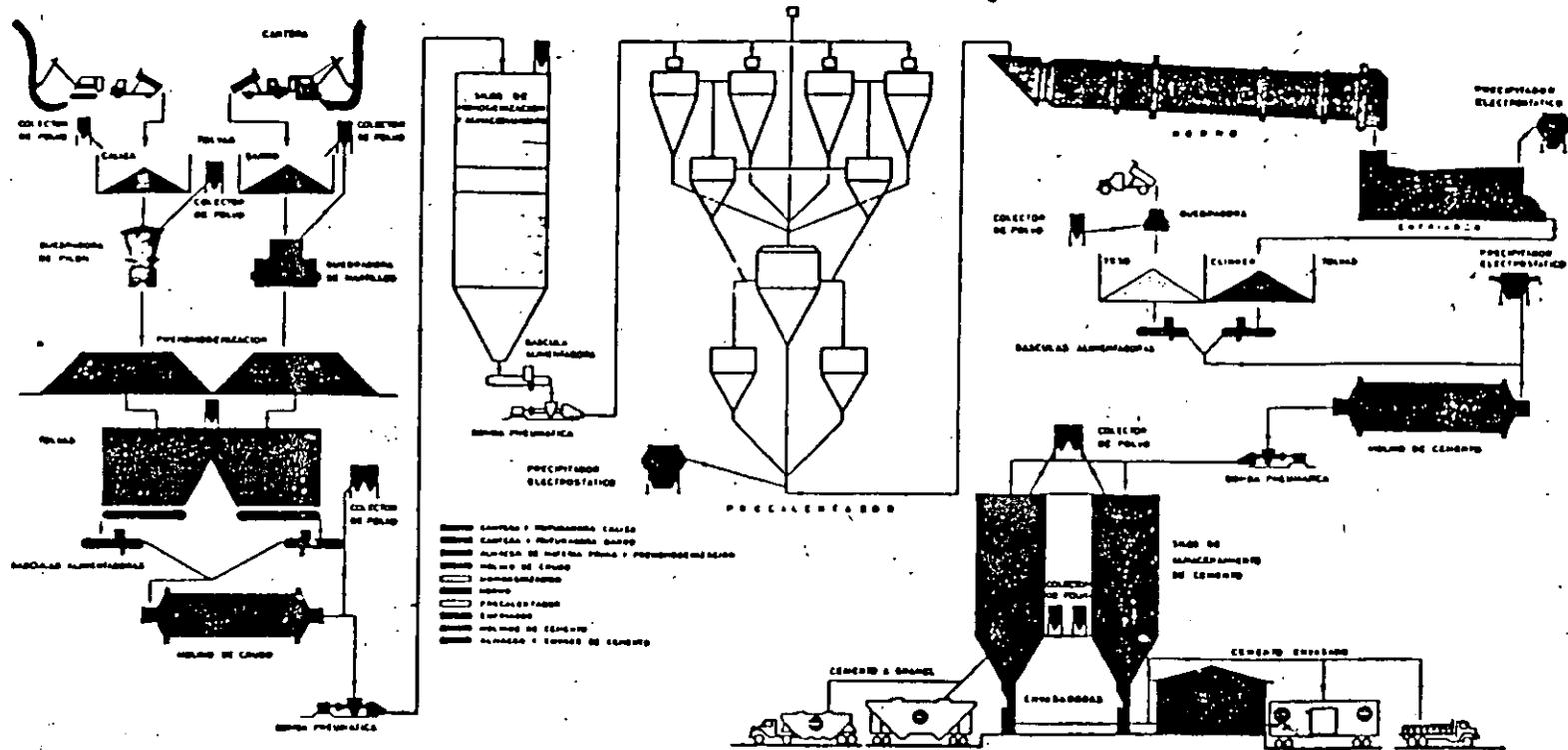
El clinker es un mineral sintético, formado por los minerales calcinados.

Los cementos puzolanicos, de escorias de altos hornos y los de cenizas volantes, son producido de una manera similar al portland tipo I; la única diferencia es que estos materiales se adicionan al clinker conjuntamente con el yeso para su molienda y ser producido estos cementos.

El cemento portland de color blanco, se considera tipo I o tipo III; pues su diferencia con el gris es la utilización de una arcilla (caolin), con bajo contenido de óxido de hierro

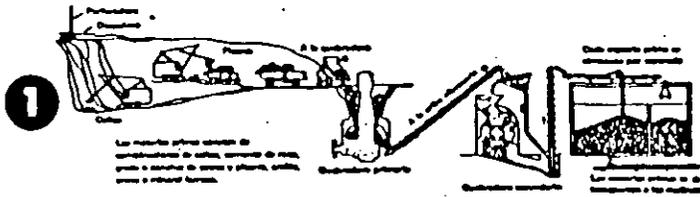
OBSERVACIONES :

DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACION DE CEMENTO
SISTEMA SECO

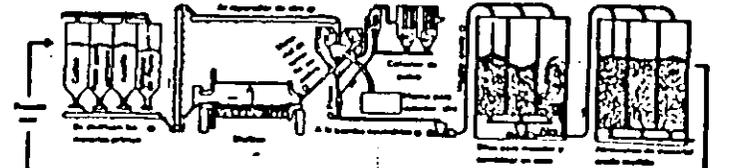


Este diagrama de operaciones muestra los procesos de la fabricación del cemento portland.

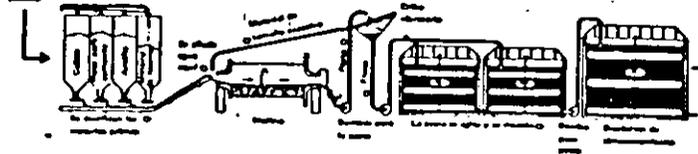
PRIMERO SE REDUCE LA PIEDRA A UN TAMAÑO DE 3 PULGADAS, LUEGO A 3/4 DE PULGADA, Y SE ALMACENA



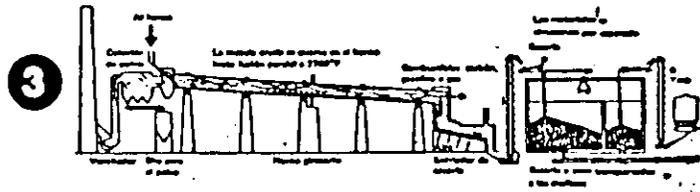
LAS MATERIAS PRIMAS SE MUELEN HASTA PULVERIZARSE Y SE MEZCLAN



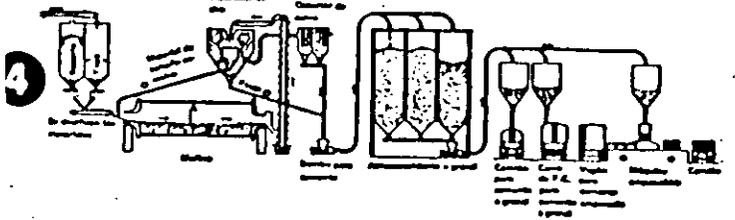
SE MUELEN LAS MATERIAS PRIMAS, SE MEZCLAN CON AGUA FORMANDO UNA PASTA Y SE COMBINAN



EL CALOR CONVIERTE, POR REACCIONES QUIMICAS, A LAS MATERIAS PRIMAS EN ESCORIA DE CEMENTO



LA ESCORIA A LA QUE SE HA AÑADIDO YESO SE MUELE FORMANDO EL CEMENTO PORTLAND QUE SE EMBARCA



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

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

* Etringita.

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

Compuestos*	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
C ₃ S	48	44	<u>51</u>	30	46
C ₂ S	22	29	16	<u>46</u>	32
C ₃ A	10	6	<u>12</u>	5	<u>3</u>
C ₄ AF	8	11	7	13	12
Suma	88	90	86	94	93

(*)

- C₃S = Silicato Tricálcico.
 C₂S = Silicato Dicálcico.
 C₃A = Aluminato Tricálcico.
 C₄AF = Ferroaluminato Tetracálcico.



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

AUTOR Y EXPOSITOR: ING. JESUS SALGADO ORTIZ

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax: 510-0573 521-4020 AL 26

TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO

Estos procesos corresponden básicamente a los movimientos que implican el traslado del concreto desde la mezcladora hasta el interior de las cimbras que darán forma a la estructura de concreto que se construye.

En éste traslado, a la vez, observan dos etapas: la primera que abarca el transporte desde la descarga de la mezcladora hasta un punto inmediato a la estructura y la colocación desde éste último punto hasta el interior de las cimbras.

I. TRANSPORTE*

El transporte del concreto es una parte esencial de la construcción de una obra de concreto y frecuentemente no se presta suficiente atención ni a la elección del método ni a su empleo en la obra.

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos; cada método o equipo posee ventajas y desventajas específicas que dependen de un gran número de variables, entre ellas :

- Volumen de concreto a transportar
- Distancia que hay que abrir
- Consistencia del concreto (revenimiento)
- Tamaño máximo del agregado en la mezcla
- Naturaleza de la obra
- Condiciones del terreno (accesos)
- Tamaño de la obra
- La altura de carga y descarga
- La capacidad y el tiempo de entrega requeridos
- Condiciones ambientales

OBJETIVO:

El objetivo del transporte del concreto es hacerlo llegar al lugar de colado lo más rápido y eficazmente posible para evitar que el concreto se seque y sin alterar sus propiedades: revenimiento, relación a/c, contenido de aire y homogeneidad (evitando segregación y pérdida de lechada o mortero)

MÉTODO DE TRANSPORTE.

Los métodos de transporte que se explicarán en éstos apuntes son los siguientes:

Carretillas

Buggies

Camiones de volteo

Camiones mezcladores

Carros de ferrocarril

Bandas transportadoras

I.1 CARRETILLAS.

Son equipos de bajo costo, se emplean aún en la actualidad para transportar pequeños volúmenes de concreto a distancias cortas; son útiles en áreas inaccesibles para otros equipos, la carga de una carretilla es de alrededor de 30 lts. de concreto (0.03 m³).

Un rendimiento aproximado con el empleo de carretillas es que seis hombres pueden transportar con ellas alrededor de 2.5 m³ por hora a una distancia de 70 m; éste rendimiento puede todavía mejorarse acondicionando vías uniformes y bien construidas para las carretillas y además habilitando vías separadas para los viajes de ida y los de regreso.

I.2 BUGGIES

Existen de distintas capacidades con las tolvas completamente llenas que van desde los 0.3 m³ hasta un límite máximo de 0.75 m³, siendo de uso más común los de 0.5 m³. Los hay también con descarga frontal o lateral y de operación manual o hidráulica.

Aunque los buggies pueden operar sobre terreno accidentado, es conveniente habilitar vías uniformes para evitar la segregación y desperdicios por derramamiento. Es necesario además tratar de controlar la descarga con éste tipo de equipos para evitar impactos fuertes.

I.3 CAMIONES DE VOLTEO

Estas unidades constan de una caja abierta, montada sobre un camión. La caja metálica debe tener superficies de contacto lisas, perfiladas, deben estar provistos de lonas para proteger el concreto de la lluvia o de la evaporación de la humedad en clima caluroso, además la apropiada limpieza de las superficies de contacto contribuye substancialmente a mantener la calidad del concreto transportado. El tiempo de entrega especificado es de 30 a 45 minutos. Su uso se encuentra muy arraigado en obras menores debido a su gran radio de acción, su aptitud para hacer llegar el concreto a diversos puntos de la obra a un costo relativamente bajo. Existe la posibilidad de adaptación de espas o de vibradores externos, de acuerdo a la consistencia de la mezcla.

I.4 CAMIÓN MEZCLADOR.

En la actualidad, los camiones mezcladores suministran en buen porcentaje del concreto empleado en la construcción, este tipo de unidades definió la imagen de la industria del concreto premezclado.

Estas unidades pueden utilizarse de dos maneras :

- a) Como agitador, para transportar el concreto que ha sido mezclado o parcialmente mezclado en una mezcladora de la planta.
- b) Como mezclador, ya sea para mezclado completo con agua en la planta, o bien en la obra después de añadir el agua.

Para el primer caso el concreto transportado se mezcla por poco tiempo, generalmente de 15 a 30 segundos en la mezcladora fija en la planta y el mezclado se completa con el tambor del camión.

En el segundo de los casos, el mezclado en el camión es un proceso en donde los materiales para el concreto previamente dosificado en una planta se transfieren al camión revolvedor donde se efectúa la operación de mezclado. El tambor del camión se gira a velocidad de carga o mezclado (10-15 rev/min) durante la carga y luego se reduce a la velocidad de agitación (4-6 rev/min).

Es necesario emplear entre 70 y 100 revoluciones para completar el mezclado en los camiones revolvedora bajo condiciones normales.

Antes de la descarga, el tambor debe girarse de nuevo a la velocidad de mezclado por unas 10 a 15 revoluciones.

El volumen absoluto total de los ingredientes dosificados para mezclado completo en un camión revolvedora, no debe exceder el 63% de la capacidad del tambor.

I.5 RECIPIENTES MONTADOS EN CARROS DE FERROCARRIL.

Es un método común de transporte de concreto masivo desde la planta de mezclado hasta un punto cerca del lugar de colocación. Una grúa levanta el recipiente de aquí hasta el punto final de colocación.

La descarga debe ser cuidadosamente controlada para impedir la segregación; el tiempo de entrega por este transporte es generalmente de 30 a 45 minutos.

I.6 BANDAS TRANSPORTADORAS.

Las bandas transportadoras al igual que las bombas para concreto son equipos especializados que abarcan tanto el transporte como la colocación del concreto; por lo que es este documento trataremos ambos casos en la parte de colocación del concreto.

II. COLOCACIÓN. . *

La colocación del concreto se refiere a la operación de trasladar el concreto del vehículo de transporte a su posición final en las cimbras que configuran la estructura en construcción.

Un requisito básico del equipo y los métodos de colocación es que deben conservar la calidad del concreto así como sus propiedades: relación agua/ cemento, revenimiento , contenido de aire y homogeneidad (evitando el riesgo de segregación).

La selección del equipo se hará en base a las siguientes consideraciones:

- El método de producción del concreto.
- Capacidad para manejar eficientemente el concreto.
- No deberá emplearse equipo en el que se necesaria ajustar las proporciones de la mezcla fuera de los límites recomendados en las especificaciones correspondientes.
- El concreto deberá mantenerse plástico y libre de juntas frías mientras se coloca.
- Deberá colocarse en capas horizontales que no excedan de 60 cm. de espesor, evitando capas inclinadas y juntas de construcción.
- Las capas deben ser lo suficientemente poco profundas para permitir la unión entre sí, mediante vibración.
- Eliminar la tendencia del concreto a segregarse, es decir, evitar la separación del agregado grueso del concreto.
- Deberá evitarse la descarga a alta velocidad.
- El equipo debe disponerse de manera que el concreto no tenga restricción en la caída vertical al recipiente o lugar de colocación que la reciba.
- Evitar el desplazamiento de cimbras y del acero.

No debemos perder de vista que muchos de los defectos de construcción más comunes se atribuyen a prácticas inadecuadas durante la colocación del concreto.

OBJETIVO:

El objetivo de la colocación del concreto es introducirlo a los espacios delimitados por las cimbras de la estructura en construcción eliminando la tendencia del concreto a segregarse, distribuyendo el concreto durante el llenado y observando que el concreto constituya un volumen monolítico después de endurecido.

MÉTODOS DE COLOCACIÓN:

Los métodos para colocación del concreto más comunes son:

- Canalones
- Bandas transportadoras
- Tolvas móviles y cubetas
- Bombas
- Equipo de pavimentación
- Tubo-embudo (tremie)

II.1 CANALONES.

Los canalones se emplean con frecuencia para trasladar concreto de niveles superiores a inferiores es decir, el desplazamiento del concreto es por gravedad, deben ser de fondo curvo, de metal y tener la capacidad suficiente para evitar derrames.

La inclinación debe ser constante, de modo que el concreto fluya continuamente y sin segregarse. Debe controlarse el flujo del concreto en el extremo del canalón en forma tal que el concreto no descienda en caída libre y provoque segregación. En la práctica se deberán colocar tubos cónicos rígidos (trompas de elefante), mangueras flexibles de diámetro no menor de 20 cm, o simples mamparas deflectoras a fin de reducir la velocidad de caída del concreto y obligar su incidencia vertical sobre la superficie de colocación.

Los canalones demasiados largos deben cubrirse para evitar la evaporación y la pérdida de evaporación y la pérdida de revenimiento.

II.2 TOLVAS MÓVILES Y CUBETAS.

El uso de tolvas móviles y cubetas junto con torres-grúa es el método más común para la distribución del concreto en las obras en las que este debe ser manejado vertical y horizontalmente.

La capacidad de las tolvas móviles que existen fluctúa entre 0.2 y 1 m³ siendo las más comunes las de 0.5 a 0.75 m³.

Existen básicamente dos tipos de tolvas móviles:

- a) La tolva móvil de volteo
- b) La tolva móvil de posición fija

La descarga puede controlarse manualmente mediante una palanca o una rueda y debe tenerse cuidado de evitar una descarga rápida. Así mismo, el amontonamiento de concreto por la descarga de las tolvas demasiado arriba o cerca a la superficie, es causa de la segregación del concreto.

II.3 BANDAS TRANSPORTADORAS.

Las bandas transportadoras de concreto están diseñadas para transportar concreto en estado plástico desde la fuente de suministro hasta las cimbras u otros lugares. La colocación del concreto por medio de este equipo debe ser una operación continua; se obtienen mejores resultados cuando se cuenta con un suministro constante de concreto mezclado adecuadamente para cargar la banda, así como con los dispositivos necesarios para desplazar el punto de descarga durante la colocación. Las bandas deben ser capaces de detenerse, mantener el concreto sobre la banda y volver a arrancar con la banda totalmente cargada.

Las bandas transportadoras pueden clasificarse en tres tipos:

- 1) Portátiles o autosuficientes.
- 2) De alimentación o en serie. S
- 3) De distribución, con descarga lateral o radial.

1) Portátiles o autosuficientes.

Cada unidad es autosuficiente y puede desplazarse fácilmente por toda la obra ya que cuenta con su propia fuente de energía; el peso y la movilidad necesarios en una banda transportadora portátil restringen su longitud total a 18 m. aproximadamente y una altura máxima de descarga de aproximadamente 11 m.

En el caso de obras mayores pueden usarse varios transportadores portátiles para manejar simultáneamente volúmenes de concreto por separado en sitios distantes, la colocación de corto alcance, generalmente se maneja mejor con transportadoras portátiles con un voladizo.

2) De alimentación o en serie.

La colocación del concreto a "largo alcance" hace necesario el uso de bandas transportadoras de alimentación operando en serie con puntos extremos de transferencia para la descarga. Este tipo de bandas transportadoras se usa para colocar grandes volúmenes de concreto, ya que su instalación y emplee resultan bastante tardados.

3) De distribución.

Los distribuidores radiales se instalan en el área de colocación, sobre un soporte en voladizo que vivamente puede desplazarse por un arco de 360° con respecto al punto de descarga, los transportadores de descarga lateral abarcan toda el área de colocación.

Se puede obtener una colocación eficiente y una capacidad máxima de la banda transportadora si se utiliza una mezcla de concreto en estado plástico, homogénea y con un revenimiento dentro del rango de 5 a 7.5 cm.

El hecho de que las bandas transportadoras de concreto constituyan un sistema abierto, en donde casi todo el concreto que va a colocarse pueda inspeccionarse visualmente, proporciona una excelente oportunidad para controlarlo; sin embargo deben emplearse protecciones o cubiertas para las transportadoras cuando las condiciones climatológicas y ambientales sean severas.

II.4 BOMBAS

El concreto bombeado es el transportado o colocado mediante presión a través de tubos rígidos y/o mangueras flexibles, que se descarga directamente dentro del área deseada.

Según el equipo, el volumen de bombeo fluctuará entre 30 y 100 m³ por hora. La distancia de bombeo variará de 91 a 300 m horizontalmente y de 30 a 90 m verticalmente, aunque se han registrado casos de bombas de alta presión en que se ha logrado bombear el concreto horizontalmente a más de 610 m y 512 m en bombeo vertical.

Entre las ventajas del bombeo se cuenta que el concreto puede ser desplazado tanto horizontal como verticalmente; además, es especialmente útil donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados. El concreto bombeado no se segrega; sin embargo, para poderla bombear, la mezcla debe cumplir con ciertos requisitos.

El éxito del bombeo depende de la cooperación estrecha entre contratistas, proveedor de concreto y la compañía que renta la bomba, pero además el rendimiento de la bomba dependerá de:

- Tipo de bomba
- Mezcla de concreto (características)
- Volumen para bombear
- Tendido de las tuberías
- Ubicación de la bomba
- Accesos para las ollas
- Distancias máximas de bombeo

El equipo de bombeo se clasifica en:

- a) -Bombas de pistón
- b) -Bombas neumáticas
- c) -Bombas de retacado

a) Se componen de una tolva de recepción, una válvula de entrada, otra de salida, un pistón y un cilindro.

La válvula de salida está situada en la línea de descarga; cuando el pistón inicia su retro-arrenque, la válvula de entrada se abre y la válvula de salida se cierra, en éste punto el pistón empuja al concreto del cilindro hasta la manguera o tubería y al final de la línea se descarga sobre la área de colocación, una cantidad correspondiente de concreto.

La energía básica proviene de motores de gasolina, diesel o eléctricos.

b) Constan básicamente de un tanque de presión y un abastecimiento de aire comprimido. El concreto es enviado al tanque de presión y luego este se sella herméticamente; el aire comprimido se inyecta por la parte superior del tanque e impulsa al concreto a través de un tubo conectado en el fondo. Al final del ducto se halla una caja mezcladora que sirve para expulsar el aire y evitar la segregación. Cuando el tanque de presión se vacía el aire es expulsado; el tanque se llena otra vez de concreto y la operación se repite.

c) Constan de tolva de recepción con tres aspas remezcladoras, tambor metálico que se mantiene al alto vacío, con rodillos giratorios dentro del mismo.

II.5 EQUIPO DE PAVIMENTACIÓN.

El empleo de mezcladoras grandes, esparcidoras de alta capacidad y pavimentadoras de cimbra deslizante, hace posible pavimentar con grandes volúmenes de concreto a ritmo acelerado.

Algunos de los problemas más frecuentes que pueden afectar la calidad deseada en la pavimentación es la poca uniformidad de mezclado entre mezcla y mezcla, variaciones en el revenimiento y en el contenido de aire.

II.6 TUBO-EMBUDO (TREMIE)

La colocación del concreto por el método de tubo-embudo es la más frecuentemente usada para vaciar el concreto bajo el agua. Con este método, el concreto se deposita bajo la superficie del concreto fresco colado anteriormente. La colocación suele ser de alimentación por gravedad, desde arriba de la superficie del agua, por un tubo vertical conectado a una tolva de forma de embudo en la parte superior. El concreto fluye desde el fondo del tubo, empujando la superficie existente del concreto hacia afuera y hacia arriba. Usos = pilas de puentes, muros en diques secos, etc.

III. CONSIDERACIONES FINALES ACERCA DEL TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

Frecuentemente se hacen peticiones en obra para aumentar el agua de la mezcla, cuando el concreto con consistencia relativamente seca no descarga. Obviamente, estas solicitudes para adicionar agua no son válidas y la limitación en el uso razonable de las proporciones de la mezcla y del revenimiento no deben imponerse por emplear equipo de colocación inadecuado.

Por otro lado, cabe destacar que es motivo de un cuidadoso estudio el manejo, transporte y colocación del concreto en algunos problemas especiales, tal como el colado en climas cálidos y en climas fríos.

VI BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA.

- * PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA MEDICIÓN, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO (ACI-340)
IMCYC.
- * COLOCACIÓN DEL CONCRETO POR MÉTODOS DE BOMBEO (ACI-304)
IMCYC.
- * COLOCACIÓN DEL CONCRETO POR MEDIO DE BANDAS TRANSPORTADORAS (ACI-304)
IMCYC.
- * COLOCACIÓN DEL CONCRETO BAJO TEMPERATURAS EXTREMAS.
IMCYC.
- * PRACTICAS RECOMENDABLES PARA LA COMPACTACIÓN DEL CONCRETO (ACI-309)
IMCYC
- * EL CONCRETO EN LA OBRA, TOMOS II Y III
IMCYC
- * CONCRETO, PRACTICAS DE CONSTRUCCIÓN
IMCYC.
- * TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NEVILLE.
IMCYC.



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

CONSOLIDACION Y CURADO DEL CONCRETO HIDRAULICO

**AUTOR: ING. FELIPE GOMEZ SANCHEZ
EXPOSITOR: ING. JUAN OSORIO PALMA**

CONSOLIDACION

MANUALES:

- * AUTOCOMPACTACION POR EFECTO DE GRAVEDAD (M. FLUIDAS).
- * VARILLADO.
- * PALEADO.
- * APISONAMIENTO (PIE-PIZON).
- * MEZCLAS RIGIDAS.

MECANICAS:

- * VIBRADO.
- * COMPACTADORES DE POTENCIA.
- * CENTRIFUGACION (GIRADO).
- * MESAS DE IMPACTO.

CURADO
METODOS UTILIZADOS

1.- APLICACION DE:

AGUA POR:

- * ANEGAMIENTO.
- * ASPERSION.
- * VAPOR.

MATERIALES SATURADOS:

- * CARPETAS DE YUTE.
- * ALGODON.
- * ALFOMBRAS.
- * TIERRA.
- * ARENA.
- * ASERCIO.
- * PAJA O HENO.

2.- USO DE MATERIALES:

- * HOJAS DE PLASTICO.
- * PAPEL IMPERMEABLE.
- * MEMBRANAS DE CURADO.



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

C U R S O S A B I E R T O S .

C O N T R O L Y V E R I F I C A C I O N D E L A C A L I D A D D E L C O N C R E T O H I D R A U L I C O .

C O M P A C T A C I O N

(A N E X O)

ING. PEDRO MORA PEREZ

Nov. 1993.

COMPACTACION = ACOMODO = CONSOLIDACION
DEFINICION

COMPACTACION . - ES LA OPERACION MEDIANTE LA CUALEL
CONCRETO YA COLOCADO SE SOMETE A LA
ACCION DE FUERZAS QUE HACEN DE EL
UNA MASA MAS HOMOGENEA Y LIBRE DE
CAVIDADES, QUE ADOPTA LA GEOMETRIA
DEL MOLDE QUE LA CONFINA.

TRABAJABILIDAD Y CONSISTENCIA

TRABAJABILIDAD . - ES LA PROPIEDAD DEL CONCRETO RECIEN MEZCLADO QUE DETERMINA LA FACILIDAD CON QUE PUEDE MANEJARSE, COMPACTARSE Y RECIBIR UN BUEN ACABADO.

CONSISTENCIA . - ES LA CAPACIDAD DEL CONCRETO RECIEN MEZCLADO PARA FLUIR. EN GRAN PARTE, TAMBIEN DETERMINA LA FACILIDAD CON QUE EL CONCRETO PUEDE COMPACTARSE.

REQUISITOS DE TRABAJABILIDAD

EL CONCRETO DEBE SER SUFICIENTEMENTE TRABAJABLE PARA QUE EL EQUIPO MODERNO DE COMPACTACION, UTILIZADO EN LA FORMA CORRECTA, PROPORCIONE UNA COMPACTACION ADECUADA.

METODOS DE COMPACTACION

MANUAL .

DEBIDO A LA ACCION DE LA GRAVEDAD SOBRE EL CONCRETO, SE LOGRA CIERTA COMPACTACION AL DEPOSITARLO EN LAS CIMBRAS. ESTO SE OBSERVA ESPECIALMENTE EN MEZCLAS FLUIDAS, PARA LOS QUE SE REQUIERE MUY POCO ESFUERZO DE COMPACTACION (VARILLADO LIGERO, APISONAMIENTO PALEADO, ETC.).

METODOS DE COMPACTACION

MECANICA .

EL METODO DE COMPACTACION MAS EMPLEADO EN LA ACTUALIDAD ES EL QUE SE IMPARTE MEDIANTE VIBRADO; ESTE ES ESPECIALMENTE ADECUADO PARA LAS CONSISTENCIAS MAS RIGIDAS, PROPIAS DE LOS CONCRETOS DE ALTA CALIDAD.

EQUIPO DE VIBRACION

SE CLASIFICA EN : — VIBRADORES INTERNOS
— VIBRADORES EXTERNOS
— VIBRADORES DE SUPERFICIE (REGLAS
VIBRADORAS, RODILLOS VIBRADORES
APISONADORES VIBRADORES DE PLACA
ETC.)

LOS VIBRADORES SE ACCIONAN MEDIANTE MOTORES DE
GASOLINA, ELECTRICIDAD Y AIRE COMPRIMIDO.

SELECCION DE UN VIBRADOR INTERNO PARA LA OBRA

- 1 . - EL REQUISITO PRINCIPAL PARA UN VIBRADOR INTERNO ES SU EFECTIVIDAD PARA COMPACTAR EL CONCRETO: DEBE TENER UN RADIO DE ACCION ADECUADO Y SER CAPAZ DE "LICUAR" Y DESAEREAR CON RAPIDEZ EL CONCRETO.
- 2 . - LA TABLA 5 . 1 . 4 (ACI-309) PROPORCIONA EL INTERVALO COMUN DE LAS CARACTERISTICAS. EL COMPORTAMIENTO Y LAS APLICACIONES DE LOS VIBRADORES INTERNOS.

TABLA 5.1.4 CARACTERISTICAS, COMPORTAMIENTO Y APLICACIONES DE LOS VIBRADORES INTERNOS

COLUMNA								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
VALORES SUGERIDOS				VALORES APROXIMADOS				
GRUPO	DIAMETRO DE LA CABEZA, (MM.)	FRECUENCIA RECOMENDADA, VIBRACIONES POR MINUTO (HZ)	MOMENTO EXENTRICO, (MM-KG)	AMPLITUD PROMEDIO (MM.)	FUERZA CENTRIFUGA, (KN.)	RADIO DE ACCION, (MM.)	VELOCIDAD DE COLADO DEL CONCRETO, (M ³ /HR)	APLICACION
1	(20-40) 3/4 A 1 1/2 "	(170-250) 9000 A 15000	0.35-1.2	0.4-0.80	0.5-1.8	80-150	0.8-0.40	CONCRETO PLASTICO Y FLUIDO EN ELEMENTOS MUY DELGADOS O SITIOS ESTRECHOS. PUEDE EMPLEARSE PARA COMPLEMENTAR VIBRADORES MAS GRANDES, EN ESPECIAL EN TRABAJOS PRESFORZADOS, EN LOS QUE LOS CABLES Y DUCTOS CAUSAN CONGESTION EN LAS CIMBRAS TAMBIEN SE EMPLEAN PARA FABRICAR MUESTRAS PARA PRUEBAS DE LABORATORIO.
2	(30-60) 1 1/4 A 2 1/2 "	(150-225) 8500 A 12500	0.9-2.90	0.5-1.00	1.4-4.0	130-250	2.3-8.0	CONCRETO PLASTICO EN MUROS DELGADOS, COLUMNAS, VIGAS, PILOTES PREFABRICADOS, LOS DELGADOS Y A LO LARGO DE JUNTAS DE CONSTRUCCION. PUEDE EMPLEARSE PARA COMPLEMENTAR VIBRADORES MAS GRANDES EN SITIOS ESTRECHOS.
3	(50-90) 2 A 3 1/2 "	(130-200) 8000 A 12000	2.3-8.10	0.6-1.30	3.1-8.9	180-360	4.6-15	CONCRETO PLASTICO RIGIDO (REVENIMIENTO MENOR A 75 MM) EN CONSTRUCCION GENERAL COMO MUROS, COLUMNAS, VIGAS, PILOTES PRESFORZADOS Y LOSAS PESADAS. VIBRADO AUXILIAR ADYACENTE A LAS CIMBRAS DE CONCRETO MASIVO Y PAVIMENTOS. PUEDE SER DE MONTAJE MULTIPLE PARA PROPORCIONAR VIBRADO INTERNO A TODO LO ANCHO DE LAS LOSAS DE PAVIMENTOS.

TABLA 5.1.4 CARACTERISTICAS, COMPORTAMIENTO Y APLICACIONES DE LOS VIBRADORES INTERNOS

COLUMNA								
	2	3	4	5	6	7	8	9
	VALORES SUGERIDOS				VALORES APROXIMADOS			
GRUPO	DIAMETRO DE LA CABEZA, (MM.)	FRECUENCIA RECOMENDADA, VIBRACIONES POR MINUTO (HZ)	MOMENTO EXENTRICO, (MM-KG)	AMPLITUD PROMEDIO (MM.)	FUERZA CENTRIFUGA, (KN.)	RADIO DE ACCION, (MM.)	VELOCIDAD DE COLADO DEL CONCRETO, (M ³ /HR)	APLICACION
4	(80-150) 3 A 6"	(120-180) 7000 A 10500	8.1-290	0.8-1.50	6.7-18.0	300-510	11-31	CONCRETO MASIVO Y ESTRUCTURAL CON REVENIMIENTO HASTA DE 50 MM., DEPOSITADO EN CANTIDADES HASTA DE 3 M ³ EN CIMBRAS RELATIVAMENTE ABIERTAS DE CONSTRUCCION SOLIDA (CENTRALES DE ENERGIA, PILAS Y CIMENTACIONES PESADAS PARA PUENTES). TAMBIEN VIBRADO AUXILIAR EN LA CONSTRUCCION DE PRESAS CERCA DE LAS CIMBRAS Y ALREDEDOR DE LOS ELEMENTOS EMPOTRADOS Y EL ACERO DE REFUERZO.
5	(130-180) 5 A 7"	(90-140) 5500 A 8500	26-40	1-2	1.1-27	400-610	19-38	CONCRETO MASIVO EN PRESAS DE GRAVEDAD, PILAS GRANDES, MUROS MASIVOS, ETC. SE REQUIEREN 2 O MAS VIBRADORES QUE OPEREN SIMULTANEAMENTE PARA COLOCAR Y COMPACTAR CANTIDADES DE CONCRETO DE 3 M ³ O MAS, DEPOSITADAS DE UNA SOLA VEZ EN LA CIMBRA.

NOTAS:

- COLUMNA 3 : MIENTRAS EL VIBRADOR ESTA OPERANDO EN EL CONCRETO.
- COLUMNA 4 : CALCULADO CON LA FORMULA DE LA FIGURA A.2 DEL APENDICE
- COLUMNA 5 : CALCULADA O MEDIDA COMO SE DESCRIBE EN LA SECCION 15.3.2. ESTA ES LA AMPLITUD MAXIMA (LA MITAD DEL VALOR ENTRE UN MAXIMO Y OTRO) OPERANDO EN EL AIRE.
- COLUMNA 6 : CALCULADA CON LA FORMULA DE LA FIGURA A.2 DEL APENDICE, EMPLEANDO LA FRECUENCIA DEL VIBRADOR QUE OPERA EN EL CONCRETO.
- COLUMNA 7 : DISTANCIA SOBRE LA CUAL EL CONCRETO SE COMPACTA POR COMPLETO.
- COLUMNA 8 : SE PRESUPONE QUE EL ESPACIAMIENTO DE LAS INMERSIONES ES DE 1.5 VECES EL RADIO DE ACCION, Y QUE EL VIBRADOR OPERA DURANTE 2/3 DEL TIEMPO EN QUE EL CONCRETO SE CUELA.
- COLUMNA 7 Y 8 : ESTOS RANGOS REFLEJAN NO SOLO LA CAPACIDAD DEL VIBRADOR, SINO TAMBIEN LAS DIFERENCIAS EN LA TRABAJABILIDAD DE LA MEZCLA, EL GRADO DE DESAERACION DESEADO, Y OTRAS CONDICIONES EXPERIMENTADAS DURANTE LA CONSTRUCCION.

SELECCION DE VIBRADORES EXTERNOS PARA CIMBRAS

PARA MEZCLAS RIGIDAS SE PREFIERE POR LO GENERAL LA VIBRACION DE BAJA FRECUENCIA Y GRAN AMPLITUD. ESTA VIBRACION GENERALMENTE PERMITE UNA MEJOR COMPACTACION Y MEJORES SUPERFICIES PARA CONSISTENCIAS MAS PLASTICAS.

MESAS VIBRADORAS . - UNA MESA VIBRADORA CONSISTE POR LO GENERAL EN UNA MASA DE ACERO O DE CONCRETO REFORZADO CON VIBRADORES EXTERNOS MONTADOS EN EL MARCO DE SOPORTE.

VIBRADORES DE SUPERFICIE

LOS VIBRADORES DE SUPERFICIE EJERCEN SU EFECTO EN LA SUPERFICIE DEL CONCRETO Y LO COMPACTAN DE ARRIBA HACIA ABAJO. ADEMAS TIENEN UN EFECTO NIVELADOR, QUE ES DE GRAN AYUDA PARA LOGRAR BUEN ACABADO.

IMPERFECCIONES

LAS IMPERFECCIONES MAS SERIAS QUE RESULTAN DE UN VIBRADO INEFICAZ SON : EL ALVEOLADO O PANAL DE ABEJA LAS EXCESIVAS CAVIDADES PRODUCIDAS POR EL AIRE ATRAPADO. LAS VETAS DE ARENA Y LINEAS DE ESCURRIMIENTO.

JUZGANDO LA EFICIENCIA DEL VIBRADO INTERNO

- 1 . - AHOGAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO.
 - NIVELACION GENERAL DEL COLADO
 - MEZCLADO APARENTE DEL PERIMETRO DEL COLADO RECIENTE CON EL CONCRETO COLADO PREVIAMENTE.
 - UNA CAPA DELGADA DE MORTERO BRILLANTE SOBRE LA SUPERFICIE.
 - PARTE DE CEMENTO VISIBLE EN LA UNION DEL CONCRETO CON LA CIMBRA.

- 2 . - CESE GENERAL DE LA APARICION DE BURBUJAS GRANDES DE AIRE ATRAPADO EN LA SUPERFICIE SUPERIOR.

PROCEDIMIENTO PARA VIBRADO INTERNO

- 1 . - EL CONCRETO DEBE DEPOSITARSE EN CAPAS DE 30 A 45 CMS.
- 2 . - LAS CAPAS DEBEN COLOCARSE LO MAS NIVELADAS QUE SEA POSIBLE.
- 3 . - EN EL CASO DE QUE SE FORMEN PEQUENOS MONTICULOS O PUNTOS ELEVADOS, SE LOGRA UNA NIVELACION LIGERA INSERTANDO EL VIBRADOR EN EL CENTRO.
- 4 . - DESPUES DE LOGRAR UNA SUPERFICIE NIVELADA, INICIAR LA COMPACTACION DEL CONCRETO INSERTANDO EL VIBRADOR EN SENTIDO VERTICAL ESPACIANDOLO UNIFORMEMENTE SOBRE TODA EL AREA DEL COLADO.
- 5 . - LA DISTANCIA ENTRE LAS INSERCIONES DEBE SER DE ALREDEDOR DE 1 1/2 VECES EL RADIO DE ACCION.

NOTA: EN LOSAS DE ESPESORES REDUCIDOS, EL VIBRADOR DEBE INCLINARSE EN SENTIDO HORIZONTAL, LO NECESARIO PARA OPERAR COMPLETAMENTE SUMERGIDO.

- 6 . - EL VIBRADOR DEBE PENETRAR RAPIDO HASTA EL FONDO DE LA CAPA DE COLADO Y POR LO MENOS 15 CM DENTRO DE LA CAPA PRECEDENTE.

- 7 . - EL VIBRADOR DEBE MANTENERSE EN OPERACION INSERTANDO POR LO GENERAL DE 5 A 15 SEG. HASTA QUE LA COMPACTACION SE CONSIDERE COMPLETA.
- 8 . - DESPUES, EL VIBRADOR DEBE RETIRARSE DESPACIO, A RAZON DE 75 mm/seg.
- 9 . - CUANDO EL COLADO CONSTA DE VARIAS CAPAS, CADA CAPA DEBE COLARSE CUANDO LA CAPA PRECEDENTE ESTE AUN EN ESTADO FLUIDO (QUE RESPONDA AL VIBRADO), A FIN DE EVITAR JUNTAS FRIAS.
- 10 . - CUANDO LA CAPA SUBYACENTE HA SOBREPASADO EL PUNTO DE ENDURECIMIENTO EN EL QUE TODAVIA PUEDE PENETRAR EL VIBRADOR, SE LOGRA BUENA ADHERENCIA VIBRANDO INTENSA Y SISTEMATICAMENTE EL CONCRETO NUEVO EN CONTACTO CON EL ANTERIOR; NO OBSTANTE, AL RETIRAR LA CIMBRA SE OBSERVARA UNA LINEA DE JUNTA INEVITABLE EN LA SUPERFICIE.

CONTROL DE CALIDAD Y SUPERVISION

UNA BUENA COMPACTACION ES EL RESULTADO DE :

- 1 . - BUENAS ESPECIFICACIONES.
- 2 . - BUENAS PROPORCIONES DE MEZCLAS.
- 3 . - SELECCION DEL EQUIPO ADECUADO Y BUENAS PRACTICAS DE MANTENIMIENTO PARA GARANTIZAR QUE SE CONSERVE EN BUEN ESTADO.
- 4 . - CAPACITACION ADECUADA A LOS TRABAJADORES RESPECTO A LOS PROCEDIMIENTOS APROPIADOS EN EL CAMPO.
- 5 . - SUPERVISION Y PRUEBAS ADECUADAS PARA VERIFICAR QUE SE SIGUEN LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL.

LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO NO ES CONSTANTE, AUN CON EL MEJOR CONTROL. LAS VARIACIONES EN LA GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS Y LAS VARIACIONES EN LA CONSISTENCIA, DEBIDOS A LA PERDIDA DE REVENIMIENTO EN EL TRAYECTO ENTRE LA MEZCLADORA Y LA CIMBRA DEBERAN COMPENSARSE MEDIANTE LIGEROS CAMBIOS EN EL PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION.

DEBE HABER SUFICIENTE FLEXIBILIDAD - EN EL TIEMPO DE VIBRADO, EL ESPACIAMIENTO DE LOS VIBRADORES Y, EN OCASIONES, EN LAS PROPIEDADES DEL VIBRADOR - PARA PODER AJUSTARSE A ESTAS CONDICIONES.

EL REVENIMIENTO DEBE SER LO MAS BAJO POSIBLE PARA LAS CONDICIONES DE TRABAJO. ES ESENCIAL EL EMPLEO DE VIBRADORES DE TAMANO APROPIADO Y EN BUENAS CONDICIONES DE OPERACION. TAMBIEN ES IMPORTANTE PARA LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL CUMPLIR CON EL ESPESOR DE CAPA ESPECIFICADO. EL ESPACIAMIENTO CORRECTO DE LOS VIBRADORES. ASI COMO EL TIEMPO DE VIBRADO Y LA PENETRACION DE LOS MISMOS.

DEBEN TENERSE DISPONIBLES VIBRADORES DE REPUESTO EN EL PUNTO DE COLADO PARA MANTENER LA PRODUCCION EN CASO DE ALGUNA INTERRUPCION, O CUANDO LOS QUE ESTAN EN USO SE RETIRAN PARA DARLES MANTENIMIENTO Y HACERLES REPARACIONES DE RUTINA.

TODAS LA UNIDADES DE VIBRADO DEBEN REVISARSE ANTES DE COMENZAR EL TRABAJO, Y EN FORMA PERIODICA DURANTE LA CONSTRUCCION, PARA GARANTIZAR QUE ESTAN TRABAJANDO CORRECTAMENTE.

ACABADO

HAY DOS CLASES FUNDAMENTALES DA ACABADO : EL QUE SE OBTIENE A CONTRAFORMA (SUPERFICIES MOLDEADAS O CIMBRADAS) Y EL QUE SE LOGRA MEDIANTE OPERACIONES POSTERIORES AL ACOMODO.

LOS ACABADOS EN SUPERFICIES MOLDEADAS SE DESIGNAN CON LA LETRA F Y SON DE CINCO TIPOS CONFORME AL VSBR.

ACABADO F1 . - ES APLICABLE PARA TODAS AQUELLAS SUPERFICIES DONDE NO ES OBJETABLE LA RUGOSIDAD. SE ADMITEN VARIACIONES GRADUADAS HASTA DE 25 mm. SE REQUIERE REPARAR EL CONCRETO DEFECTUOSO; DEPRESIONES MAYORES A 25 mm Y RELLENAR LA OQUEDADES DEJADAS POR VARILLAS. LA CIMBRA DEBE SER ESTANCA.

ACABADO F2 . - SE APLICA A SUPERFICIES EXPUESTAS
PERMANENTEMENTE EN QUE NO SE ESPECIFICA ACABADO
ESPECIAL: LO CUAL CORRESPONDE A MUCHAS
ESTRUCTURAS HIDRAULICAS NO SUJETAS A LA ACCION
DE AGUA QUE FLUYE A ALTA VELOCIDAD. LAS
CIMBRAS PUEDEN SER DE MADERA O ACERO DE TAL
MANERA QUE SE OBTENGAN LAS DIMENSIONES Y
ALINEAMIENTOS REQUERIDOS SIN PANDEOS NI
SALIENTES NOTABLES.

ACABADO F3 . - ES EL REQUERIDO EN SUPERFICIES DE ESTRUCTURAS DONDE LA APARIENCIA ES IMPORTANTE. PARA LO CUAL LAS CIMBRAS DEBEN TENER LAS DIMENSIONES PRECISAS Y CONSTRUIRSE CON TABLEROS DE MADERA MACHIMBRADA O FORRADA CON CHAPA. NO PERMITIENDOSE REVESTIMIENTO METALICO.

ACABADO F4 . - SE APLICA EN SUPERFICIES DONDE EL
ALINEAMIENTO Y LA REGULARIDAD SON
EXTREMADAMENTE PRECISAS A FIN DE QUITAR LOS
EFECTOS DESTRUCTIVOS DEL AGUA QUE FLUYE A GRAN
VELOCIDAD EN ESTRUCTURAS HIDRAULICAS.

LAS CIMBRAS PUEDEN SER DE MADERA FORRADA O
METALICAS PARA OBTENER LA TEXTURA ESPECIFICADA.

ACABADO F5 . - SE ESPECIFICA EN SUPERFICIES A LOS QUE SE DEBE APLICARSE POSTERIORMENTE UN APLANADO O REPELLADO.

LAS CIMBRAS DEBEN SER DE MADERA SIN CEPILLAR PARA OBTENER SUPERFICIES RUGOSAS QUE FACILITEN LA ADHERENCIA.

NO DEBEN APLICARSE DESMOLDANTES A LA CIMBRA

LOS ACABADOS SOBRE SUPERFICIES LIBRES SE DESIGNAN CON LA LETRA U Y SE DIVIDEN EN CUATRO TIPOS :

ACABADO U1. - SE OBTIENEN PASANDO UNA REGLA O CERCHA SOBRE SUPERFICIES DE CONCRETO QUE POSTERIORMENTE DEBEN CUBRIRSE CON MATERIAL DE RELLENO U OTRO CONCRETO.

ESTE PASO ES EL PRELIMINAR PARA LOS ACABADOS U2 Y U3.

ACABADO U2 . - SE OBTIENE CON LLANA DE MADERA Y SE EMPLEA EN SUPERFICIES EXTERIORES DONDE NO SE ESPECIFICA ACABADO ESPECIAL. EL ACABADO PUEDE DARSE MANUAL O MECANICAMENTE PERO SIN INICIARLO HASTA QUE EL CONCRETO MANIFIESTE CIERTA RIGIDEZ Y DESAPAREZCA EL BRILLO SUPERFICIAL. LA OPERACION DE LA LLANA DEBE LIMITARSE A OBTENER UNA SUPERFICIE UNIFORME, BORRANDO LAS MARCAS DEJADAS POR LA REGLA EN LA OPERACION PROCEDENTE.

ACABADO U3 . - SE LOGRA CON REGLA METALICA APARTIR DE U2 Y SE RECOMIENDA EN LOSAS DE PISOS INTERIORES. PLANTILLAS DE TUNELES, ETC. LA APLICACION DE LA LLANA METALICA DEBE HACERSE AL MOMENTO EN QUE LA PELICULA DE HUMEDAD Y BRILLO HAYAN DESAPARECIDO DE LA SUPERFICIE Y HASTA QUE EL CONCRETO ENDUREZCA LO SUFICIENTE PARA EVITAR QUE SE PRESENTE DEMASIADO MATERIAL FINO Y AGUA EN LA SUPERFICIE YA QUE PUEDE PROVOCAR FISURAS Y REDUCIR LA DURABILIDAD DE LA MISMA.

ACABADO U4 . - ES EL RECOMENDADO PARA REVESTIMIENTO DE CANALES. CUYOS RESULTADOS DEBEN SER EQUIVALENTES EN REGULARIDAD, TERSURA Y AUSENCIA DE DEFECTOS A LOS QUE SE OBTIENEN MEDIANTE LA MANIPULACION PROLONGADA DE LA LLANA METALICA, AUN CUANDO NORMALMENTE NO ES OBJETABLE LA PRESENCIA DE MINUSCULAS PICADURAS ESPORADICAS O DE LIGERAS HUELLAS DE LA LLANA.

TABLA 3.1.2

TOLERANCIAS PARA IRREGULARIDADES EN SUPERFICIES DE CONCRETO

En superficies moldeadas

IRREGULARIDADES	TOLERANCIAS MAXIMAS PARA ACABADOS. ^a en mm.				
	F1	F2	F3	F4	F5
DEPRESIONES GRADUALES	25	---	---	---	---
BRUSCAS	---	13	6	$\left\{ \begin{array}{l} 6 \\ 6^b \\ 3^c \end{array} \right.$	6
	---	6	3		6

a medidas respecto a un patron de 1.5 m.

b como depresion o saliente en sentido paralelo al flujo.

c como depresion o saliente en sentido no paralelo al flujo.

En superficies libres

SUPERFICIES	TOLERANCIAS MAXIMAS PARA ACABADOS. ^d en mm.			
	U1	U2	U3	U4
EN TODAS SUPERFICIES.	10	6	6	---
EN SUPERFICIES DE LOSAS DE FONDO DE CANALES.	---	---	---	6
EN SUPERFICIES DEL REVESTIMIENTO EN TALUDES DE CANALES.	---	---	---	13

d medidas respecto a un patron de 3.0 m.

CURADO

EL CURADO CONSISTE EN EL MANTENIMIENTO DE CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DE TEMPERATURAS SATISFACTORIAS EN EL CONCRETO DURANTE UN PERIODO DEFINIDO INMEDIATAMENTE DESPUES DE LA COLOCACION Y ACABADO, CON EL PROPOSITO QUE SE DESARROLLEN LAS PROPIEDADES DESEADAS.

EL CURADO TIENE UNA GRAN INFLUENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO COMO SON LA DURABILIDAD, RESISTENCIA, IMPERMEABILIDAD, ETC...

LOS OBJETIVOS DEL CURADO SON :

- PREVENIR (O REAPROVISIONAR) LA PERDIDA DE HUMEDAD DEL CONCRETO.
- MANTENER UNA TEMPERATURA FAVORABLE EN EL CONCRETO DURANTE UN PERIODO DEFINIDO.

LA TEMPERATURA JUEGA UN PAPEL IMPORTANTE EN EL DESARROLLO DEL PROCESO DE HIDRATACION DEL CEMENTO, PRINCIPALMENTE CUANDO PRESENTA VALORES EXTREMOSOS.

TEMPERATURA PERMANENTE DE CURADO	VELOCIDAD DE HIDRATACION	RESISTENCIA MECANICA A 28 DIAS
1 { < -10 -10 A 0 0 A 5	NULA CASI NULA MUY LENTA	NULA IMPERCEPTIBLE MUY BAJA
2 { 10 A 21 21 A 25 25 A 40	REDUCIDA NORMAL INCREMENTADA	PRACTICAMENTE NORMAL NORMAL PRACTICAMENTE NORMAL
3 { 40 A 65 65 A 90	RAPIDA MUY RAPIDA	LIGERAMENTE BAJA BAJA
4 { > 90	MUY RAPIDA	MUY BAJA

- 1 . - DEBE EVITARSE QUE LA TEMPERATURA DE CURADO DEL CONCRETO SEA MENOR A 10 GRADOS CENTIGRADOS.
- 2 . - EL INTERVALO PERMISIBLE DE TEMPERATURA PARA EL CURADO PERMANENTE DEL CONCRETO, VARIA ENTRE 10 Y 40 GRADOS CENTIGRADOS APROXIMADAMENTE.
- 3 . - TEMPERATURAS ENTRE 40 Y 90 GRADOS CENTIGRADOS SOLAMENTE SON ACONSEJABLES EN PERIODOS CORTOS, AFIN DE ACELERAR LA VELOCIDAD INICIAL DE HIDRATACION, MEDIANTE LA APLICACION DEL PROCEDIMIENTO DE CURADO CON VAPOR A PRESION ATMOSFERICA.
- 4 . - LA APLICACION DE TEMPERATURAS MAYORES A 90 GRADOS CENTIGRADOS SOLAMENTE PRODUCEN BUENOS RESULTADOS EN EL CONCRETO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE CURADO EN AUTOCLAVE.

EXISTEN VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA CONSERVAR LA HUMEDAD DEL CONCRETO Y EL METODO DE MAYOR EFECTIVIDAD DEPENDERA DE LAS CIRCUNSTANCIAS QUE PREVALESCAN EN EL LUGAR.

EL CONCRETO PUEDE MANTENERSE HUMEDO (Y EN CIERTOS CASOS A TEMPERATURA FAVORABLE) CON EL USO DE TRE METODOS DE CURADO :

- 1 . - METODOS QUE MANTENGAN LA PRESENCIA DE AGUA SOBRE LA SUPERFICIE DE CONCRETO DURANTE EL PERIODO INICIAL DE ENDURECIMIENTO Y HASTA LA EDAD ESPECIFICADA DE CURADO.
- 2 . - METODOS QUE EVITAN LA PERDIDA DEL AGUA DE MEZCLADO DE CONCRETO SELLANDO LA SUPERFICIE.
- 3 . - METODOS QUE ACELERAN LA GANANCIA DE RESISTENCIA SUMINISTRANDO CALOR Y HUMEDAD ADICIONAL AL CONCRETO.

CURADO CON AGUA

- INUNDACION O INMERSION
- RIEGO O ASPERSION
- MATERIALES SATURADOS (TELAS ABSORBENTES TALES COMO YUTES, ARPILLEROS, ESTERAS DE ALGODON, TIERRA, ARENA, VIRUTA DE MADERA, ETC...)

MATERIALES SELLADORES

- PAPEL IMPERMEABLE (ASTM G-171) . ASTM G-156
- TELAS O LAMINAS DE PLASTICO (ASTM G-171), ASTM G-156
- LIQUIDOS QUE FORMAN MEMBRANAS (ASTM G-309), ASTM G-156

CURADO AL VAPOR

- VAPOR VIVO A PRESION ATMOSFERICA
- VAPOR A ALTA PRESION EN AUTOCLAVES



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

DURABILIDAD

- CONCRETO EN CLIMA CALUROSO
- CORROSION DEL ACERO DE REFUERZO
- DURABILIDAD DEL CONCRETO EN MEXICO.

AUTOR Y EXPOSITOR: ING. MANUEL MENA F.

**Concreto en Clima Caluroso:
Aspectos Sobre la Durabilidad**

Por Manuel Mena Ferrer

Sinopsis: Se describen las características que definen el clima caluroso, en relación con el uso del concreto en la construcción de estructuras. Se delimitan tres diferentes zonas de clima caluroso en la República Mexicana, de acuerdo con la humedad relativa ambiental, con diferente riesgo potencial de deterioro prematuro para las estructuras de concreto que ahí se construyen. Se examinan y discuten los efectos perjudiciales de las altas temperaturas y las bajas humedades relativas sobre el concreto en sus estados fresco, en curso de endurecimiento y ya endurecido; con particular atención a los efectos en la hidratación del cemento, la evaporación del agua libre y los cambios volumétricos del concreto. Se menciona la trascendencia de estos efectos perjudiciales en la durabilidad de las estructuras de concreto. Se resumen las principales medidas preventivas y de protección que son aplicables para evitarle daños prematuros al concreto que se cuele en clima caluroso.

Palabras Clave: Clima caluroso, temperatura, humedad relativa, durabilidad, hidratación, evaporación, cambios volumétricos, curado, agrietamiento, mantenimiento.

Manuel Mena Ferrer ejerce actualmente como ingeniero consultor en tecnología del concreto, en la ciudad de México, D.F. Con anterioridad fue jefe de la Oficina de Materiales del Departamento de Estudios Experimentales de la Comisión Federal de Electricidad, e investigador en la Sección de Estructuras del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

ASPECTO GENERAL

Los primeros usos del concreto reforzado se remontan a las décadas finales del siglo 19, y algunas de esas primeras aplicaciones todavía permanecen en servicio. (1) Esto significa que dicho concreto, comparable con el convencional actual ha demostrado que puede durar en servicio útil más de 100 años. Sin embargo, numerosas estructuras de concreto construidas entonces y después, se deterioraron en el curso de pocos años y tuvieron que ser reconstruidas o remplazadas; lo cual puso de manifiesto que la durabilidad del concreto no es una característica inmanente e invariable, sino que debe ser motivo de procuración en cada caso.

El tiempo que una estructura de concreto puede prestar satisfactoriamente el servicio para el que se construye, depende de numerosos factores entre los cuales destacan la adecuada selección y uso del concreto, y la correcta realización del diseño, la construcción y el mantenimiento de la estructura. Al considerar la selección y uso del concreto, se entiende que debe adecuarse a las condiciones específicas de cada obra, en lo que se refiere al medio ambiente, el medio de contacto y el tipo de servicio al que debe someterse el concreto en la estructura.

En lo relativo a las condiciones ambientales, es necesario tomar en cuenta no sólo las que prevalecen durante la etapa de construcción, sino también las que debe soportar la estructura en funciones. En el primer caso, el medio ambiente ejerce influencia sobre el concreto en sus estados fresco, recién fraguado y en curso de endurecimiento, en tanto que en el segundo caso actúa sobre el concreto ya endurecido.

En regiones donde ocurren variaciones extremas del clima entre las temporadas estival e invernal, deben tomarse medidas para proteger el concreto contra ambas condiciones extremas, según el caso. Por ejemplo, si la estructura se construye durante el invierno, deben adoptarse las precauciones recomendables para colados en tiempo frío, y además deben prevenirse las

medidas necesarias para proteger a la estructura en servicio de los efectos de la congelación en futuros inviernos. Si por el contrario se construye en verano, las precauciones de colado que deben aplicarse son las de tiempo caluroso, pero de todos modos debe preverse la protección del concreto endurecido contra el daño por congelación durante los periodos invernales de su vida de servicio.

En regiones donde las variaciones estacionales son amortiguadas por la posición geográfica, no suelen ocurrir grandes diferencias entre las condiciones climatológicas de verano e invierno, y por consiguiente tienden a prevalecer condiciones ambientales parecidas en las etapas de construcción y de servicio de las estructuras. De este modo en las zonas de clima tropical, casi en cualquier época del año en que se construye una estructura de concreto, son aplicables las recomendaciones para colados en tiempo caluroso, y en ningún caso se justifica tomar medidas para prevenir los efectos de la congelación en el concreto en servicio.

CLIMA CALUROSO

El clima lo determina el conjunto de fenómenos meteorológicos (insolación, precipitaciones pluviales, vientos, presión atmosférica) cuyas manifestaciones en un lugar determinado dependen principalmente de su altitud y latitud, y secundariamente de aspectos locales como su proximidad al mar, por ejemplo. De la participación proporcional de estos fenómenos resultan las condiciones ambientales, cuyas características más representativas son la temperatura y el grado de humedad.

Al examinar los límites en que varía normalmente la temperatura ambiental que se produce a lo largo del año en las regiones pobladas del planeta, se observan valores medios mensuales mínimos del orden de -15°C y máximos cercanos a 40°C , lo que implica valores mínimos y máximos absolutos aun más extremos. En relación con el uso del concreto, esta amplitud de variación de la temperatura puede considerarse subdividida en tres intervalos que definen otras tantas condiciones térmicas ambientales de trabajo: a) intervalo de baja temperatura, en que deben aplicarse medidas para proteger el concreto fresco y endurecido contra el frío excesivo, b) intervalo de temperatura moderada, en las que no se requieren medidas especiales en este aspecto, para el uso del concreto en la construcción de estructuras ordinarias, y c) intervalo de altas temperaturas, durante cuya manifestación se recomiendan precauciones con objeto de prevenir los efectos perjudiciales del calor excesivo sobre el concreto fresco y recién colocado principalmente.

Las bajas temperaturas, a partir de las cuales debe prote-

gerse el concreto contra los efectos detrimentales del frío, se hallan delimitadas con relativa precisión (2) pues básicamente se definen en términos de prevenir el riesgo de congelación del concreto recién colocado y en curso de endurecimiento. No existe sin embargo la misma precisión para definir el nivel en que comienzan a producirse las condiciones de alta temperatura, debido a la injerencia de otros factores. Así, en el informe ACI 305 (3) se define el clima caluroso, para fines del uso del concreto, como una "combinación de las siguientes condiciones, que tiende a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido: a) alta temperatura del ambiente, b) alta temperatura del concreto, c) baja humedad relativa, d) velocidad del viento, e) radiación solar". Es pertinente observar que, en cuanto a la temperatura, no sólo es necesario considerar la del ambiente sino también la del concreto.

A causa del calor que se genera durante la hidratación del cemento, hay tendencia a que se incremente la temperatura del concreto después de colocarlo en las formas; incremento que depende de aspectos tales como el tipo y consumo de cemento, los espesores de los miembros estructurales, y las facilidades para la disipación del calor interno. Debido a la gran variabilidad de estos aspectos, no es factible establecer un tope de carácter general para la temperatura de colocación del concreto, de modo que al incrementarse no rebase un cierto límite máximo considerado como perjudicial. Por tal motivo, cuando así se requiere, lo recomendable es que el nivel máximo permisible de temperatura del concreto al ser colocado se defina individualmente, de acuerdo con las condiciones específicas del caso. Sin embargo, a manera de orientación para la construcción de estructuras ordinarias (no voluminosas) en el USBR (4) suele especificarse una temperatura máxima de colocación del concreto igual a 27°C para trabajos en clima árido y caluroso, y 32°C cuando el clima es caluroso pero no seco.

Comúnmente los agregados poseen una temperatura más alta que la del ambiente, si permanecen expuestos al sol; el cemento puede suponerse a una temperatura entre la del ambiente y un valor más alto que depende de su antigüedad de fabricación; el agua, por su alto calor específico, tiende a mantenerse en un nivel de temperatura algo menor y más uniforme que el del medio ambiente, salvo que reciba directamente calor solar. De esta manera, si no se ejercen acciones en contrario, al hacer el balance de estas condiciones puede esperarse que la temperatura del concreto al ser mezclado tienda a ser, en promedio, algo mayor que la del medio ambiente. Es decir, para poder colocar el concreto a una temperatura máxima de 27 o de 32°C, sin adoptar medidas preventivas, es necesario que la temperatura ambiente sea menor de 27°C en clima seco y menor de 32°C en clima húmedo.

La razón básica para establecer distinción entre las temperaturas máximas permisibles en ambos tipos de clima, se debe a la disminución de la velocidad con que se evapora el agua a medida que es mayor la humedad relativa del ambiente; de este modo, para que se produzca una cierta velocidad de evaporación, es posible admitir una temperatura más alta conforme aumenta la humedad relativa. Se sabe (3, 5) que si el agua superficial del concreto recién colocado en las formas se evapora a una velocidad del orden de 1 kg/m²/hr, existe el riesgo de que ese concreto se agriete por efecto de la contracción plástica, y que para producir esa velocidad crítica de evaporación en un ambiente con viento suave (16 km/hr) se requiere una humedad relativa de 40 por ciento si la temperatura es de 27°C, y de 60 por ciento cuando la temperatura es de 32°C.(3)

CONDICIONES LOCALES

La República Mexicana se localiza entre los 15 y 33 grados de latitud norte, de manera que el Trópico de Cáncer (23° 27') la divide en dos porciones aproximadamente iguales; de este modo, astronómicamente, a la porción sur le corresponde clima tropical y a la porción norte clima templado. Sin embargo, de acuerdo con las condiciones locales de altitud y distancia al mar, hay cierta tendencia a la definición de tres zonas que presentan diferente clima regional: zona A, que corresponde a la región centro-norte, en donde el medio ambiente suele ser seco, caluroso en verano y frío en invierno; zona B, que rodea la anterior pero con un clima menos extremoso, pues exhibe mayor grado de humedad y más moderación en las variaciones estacionales de temperatura; y zona C, que comprende principalmente la región sur-sureste y la llanura costera del litoral del Golfo de México, en donde el clima es sensiblemente tropical, cálido y húmedo, con relativamente menos variaciones entre el verano y el invierno.

En la Fig 1, formada con datos de la Ref (6), se hace una delimitación tentativa de estas tres zonas climáticas, cuyas principales características de temperatura y humedad son aproximadamente como sigue:

<u>Conceptos</u> (Límites probables)	<u>Zonas climáticas</u>		
	(A)	(B)	(C)
Temperatura mínima absoluta en invierno, °C	-22/-8	-12/0	0/12
Temperatura máxima absoluta en verano, °C	36/50	36/48	40/46
Humedad relativa media anual, %	30/40	40/60	60/80

De acuerdo con estos datos, es evidente que durante el verano se manifiestan de manera general elevadas temperaturas ambientales en la mayoría del territorio nacional, si bien bajo tres diferentes condiciones de humedad relativa. De esta manera, en relación con el uso del concreto durante la construcción de estructuras, las condiciones más desfavorables se presentan en la zona A, en donde se conjugan las altas temperaturas estivales con las bajas humedades relativas, lo cual origina situaciones propicias para que se incremente la velocidad de evaporación del agua, y por consiguiente para que se produzca una rápida desecación del concreto recién colocado. En la zona B las condiciones se presentan menos desfavorables, pues las temperaturas máximas probables tienden a disminuir, en tanto que las humedades relativas ambientales tienden a aumentar; pero aun así, continúan representando condiciones riesgosas para el concreto durante su utilización. Por último en la zona C la humedad relativa suele ser bastante alta, pero como la temperatura ambiental también lo es, subsiste el riesgo de que se conjunten condiciones propicias para la desecación prematura del concreto en un momento dado: por ejemplo, si la humedad relativa es de 70 por ciento, el riesgo de que se produzca la velocidad de evaporación crítica ($1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$) ocurre cuando la temperatura del concreto es de 35°C (3), lo que no es difícil que suceda en esta zona si no se adoptan medidas para evitarlo.

EFFECTOS PERJUDICIALES EN EL CONCRETO

El clima caluroso tal como se ha definido, ejerce acción perjudicial sobre el concreto principalmente en la etapa comprendida desde su elaboración hasta que adquiere su resistencia de proyecto; a diferencia del clima frío que puede causarle daño tanto al actuar en esta primera etapa como después durante su vida de servicio. En tal concepto, las medidas para proteger al concreto de los efectos adversos del clima caluroso, normalmente se circunscriben al periodo constructivo de las estructuras y el inmediato posterior.

Las altas temperaturas suelen afectar al concreto recién elaborado y en curso de fraguar y endurecer, debido principalmente a los efectos que dichas temperaturas producen sobre: 1) la hidratación del cemento, 2) la evaporación del agua, y 3) los cambios de volumen del concreto; cuyos efectos se interrelacionan y acumulan para converger en la merma de propiedades el concreto y el acortamiento de su duración potencial en servicio.

Hidratación del Cemento

El proceso de hidratación del cemento, como sucede en

cualquier reacción química, se hace más rápido conforme aumenta la temperatura; lo cual se manifiesta por una mayor resistencia mecánica del concreto en sus primeras edades. Sin embargo, esta manifestación inicial no persiste, pues a edades posteriores la adquisición de la resistencia se vuelve más lenta, de modo que ya a la edad de proyecto el concreto hidratado en alta temperatura registra menos resistencia a compresión que el mismo concreto hidratado en baja temperatura, según se indica en la Fig 2. (7)

La justificación de que así ocurra, se muestra en la Fig 3 (8) que representa esquemáticamente la forma como se hidrata una partícula de cemento a temperatura baja (13°C) y a temperatura alta (49°C). Como ahí se hace notar, la hidratación a temperatura elevada conduce a la formación de una especie de costra alrededor de la partícula, que inhibe el acceso del agua hacia el núcleo de la misma para su ulterior hidratación, con lo cual esta última no se alcanza a completar aunque exista suficiente humedad en el concreto. De esta manera, se origina un residuo de cemento que permanece sin hidratar y que no aporta resistencia al concreto, lo que no solamente representa una deficiencia técnica sino también un inconveniente económico.

Este desarrollo anómalo del proceso de hidratación del cemento es atribuible básicamente al efecto de las altas temperaturas, ya que inclusive se manifiesta en presencia de agua; de modo que su manifestación adversa a la resistencia mecánica del concreto, que es irreversible, puede ocurrir dondequiera que el concreto se produzca y endurezca a temperatura elevada, independientemente del grado de humedad que prevalezca en el medio de exposición. Es decir, se trata de una consecuencia perjudicial del clima caluroso que puede manifestarse en cualquiera de las tres zonas del territorio nacional, cuando existen altas temperaturas ambientales.

Para dar una idea hasta dónde puede tolerarse la elevación de la temperatura de hidratación sin afectar demasiado la resistencia del concreto, en la Fig 4 formada con datos de la Ref (7), se presenta la forma como usualmente varía la resistencia a compresión del concreto a diversas edades, conforme aumenta la temperatura de curado. Según ahí se hace notar, para una temperatura de 32°C (en condiciones de curado húmedo) la resistencia del concreto a 28 días sólo se reduce alrededor de 5 por ciento con respecto a la que se obtiene en curado estándar a 23°C ; lo cual se juzga tolerable y parece apoyar el criterio de considerar 32°C como temperatura máxima admisible para el endurecimiento del concreto en ambiente húmedo.

Es pertinente señalar que la aceleración del proceso de hidratación del cemento con el aumento de la temperatura, también se refleja en una sensible disminución del tiempo de

fraguado, que puede ocasionar dificultades para la adecuada colocación y compactación del concreto en las formas. Sin embargo, a diferencia de la afectación de resistencia que no es corregible, la evolución del fraguado sí es susceptible de modificación y ajuste mediante aditivos. Es por ello que para colados en tiempo caluroso suele recomendarse el uso de aditivos retardadores del fraguado, en forma tal que pueda conciliarse la duración del fraguado inicial del concreto a la temperatura de la obra con el tiempo requerido para su transporte, colocación y compactación en la estructura.

Evaporación del Agua

La excesiva pérdida anticipada del agua del concreto, puede ocasionarle perjuicios desde que se elabora hasta que se encuentra en servicio, por cuyo motivo las condiciones de exposición que estimulan la pérdida de agua por evaporación, resultan indeseables. Tal como se ha dicho, el ambiente caluroso en que se conjugan temperaturas altas, humedades relativas bajas y presencia de viento, representa las peores condiciones en este aspecto. Los efectos perjudiciales que la intensa evaporación del agua produce en las sucesivas etapas de la vida del concreto, se describen a continuación.

Durante la elaboración del concreto y en el curso de su manipulación para transportarlo, colocarlo y compactarlo, se presentan las primeras manifestaciones inconvenientes del clima caluroso, bajo el aspecto de la evaporación del agua. En primer término, al aumentar la temperatura ambiental se incrementa la demanda de agua de mezclado del concreto, con sus correspondientes consecuencias adversas sobre la resistencia mecánica, la permeabilidad y los cambios volumétricos; esto es, si el concreto requiere más agua y con ello se incrementa la relación agua/cemento, puede esperarse que manifieste menos resistencia, más permeabilidad y mayor contracción por secado, todo lo cual repercute adversamente en su durabilidad. En segundo término, en dichas condiciones ambientales las mezclas de concreto recién elaboradas pierden revenimiento con mayor rapidez, lo que puede conducir a defectos de construcción por la dificultad de colocarlas correctamente en la estructura; se sabe que los defectos de construcción suelen dar pie a la degradación anticipada del concreto en servicio.

Al término de su compactación y acabado, si el concreto durante la etapa de fraguado pierde agua por evaporación con demasiada rapidez (del orden de $1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$), experimenta contracciones causantes de esfuerzos de tensión que es incapaz de resistir en esta etapa, con lo cual sufre agrietamientos por "contracción plástica". Este fenómeno detrimental es particularmente probable en los pavimentos de concreto recién colados, por su gran superficie expuesta a la evaporación, y es

fuerza potencial del deterioro prematuro de las estructuras en que ocurre, cuando dichos agrietamientos no se corrigen oportunamente.

La continua presencia de humedad suficiente en el concreto durante sus primeras edades de endurecimiento es una condición esencial, e insustituible, para que el proceso de hidratación del cemento se desarrolle con normalidad, y por consiguiente para que el concreto pueda adquirir todas sus propiedades potenciales. La falta de agua suficiente para que el cemento se hidrate en forma sostenida, es por sí misma una condición detrimental que no requiere necesariamente acompañarse de una elevada temperatura para ocasionarle perjuicio al concreto. La magnitud de este perjuicio se pone de manifiesto en la Fig 5 (9) en donde se representa la adquisición de resistencia a compresión del concreto con la edad, en diferentes condiciones de humedad pero sin la influencia de la temperatura. Como en dicha figura se observa, a medida que el concreto padece más deficiencia de humedad se manifiesta mayor detrimento en su resistencia; si bien es pertinente mencionar que este efecto detrimental no es completamente irreversible (como el que produce la excesiva temperatura), pues una aportación tardía de agua externa que reponga la humedad necesaria en el concreto, puede permitirle una cierta recuperación de la resistencia potencial no adquirida por deficiencia de agua.

De acuerdo con la manera de producirse el efecto anterior, puede considerarse que la deficiencia de agua de hidratación es una situación igualmente perjudicial para el concreto que se emplea durante clima caliente o clima frío; sin embargo, también debe considerarse que el riesgo de que se produzca esa deficiencia de agua se incrementa en la medida que la temperatura es más alta y la humedad relativa es más baja, porque en estas condiciones la evaporación del agua es más rápida. Es decir, el requerimiento de conservar el concreto húmedo en sus primeras edades, es igualmente necesario durante los trabajos en verano y en invierno, pero las medidas para lograrlo requieren ser más oportunas y eficaces en un medio ambiente estival caluroso y seco, como suele ocurrir en las zonas climáticas A y B del territorio nacional, previamente señaladas.

La conservación del concreto en condición húmeda durante un cierto lapso posterior al colado, constituye el tratamiento de curado húmedo que deben recibir todas las estructuras recién construidas, y para cuya realización existen diversos procedimientos, materiales y productos que se hallan ampliamente descritos en el informe del Comité ACI 308. (10) Aunque la ejecución de este tratamiento es un requisito que se contempla normalmente en las especificaciones de construcción, en la práctica es una actividad que con frecuencia sólo se cumple a medias, e incluso no se cumple, para lo cual existen variadas explica-

ciones posibles: negligencia de quien construye y/o de quien supervisa, inaccesibilidad de la estructura, procedimientos ineficientes, materiales y/o productos de mala calidad, etc.

No obstante que la realización de un buen curado húmedo es una necesidad reconocida desde los primeros usos del concreto, ha sido en épocas recientes cuando se ha demostrado la influencia que ejerce no solamente en la resistencia mecánica, sino también en prácticamente todas las propiedades del concreto endurecido que de alguna manera tienen injerencia en su durabilidad. Debido a la mencionada frecuencia con que se producen omisiones y deficiencias en la realización del curado húmedo, y por el hecho de que estas deficiencias se agudizan en condiciones de clima caluroso, es pertinente destacar los efectos detrimentales que produce en el concreto la falta de humedad en sus primeras edades, a fin de darle al curado húmedo la importancia que merece.

Se sabe que para la completa hidratación de la pasta de cemento, se requiere una proporción de agua del orden del 25 por ciento del peso del cemento que contiene, en tanto que para mezclar el concreto se utilizan cantidades de agua que normalmente representan entre el 35 y 75 por ciento del cemento, en peso; es decir, en el momento de elaborar el concreto siempre existe agua en exceso de la que el cemento estrictamente necesita para hidratarse. Sin embargo, a partir de su elaboración el concreto comienza a perder agua por diversas causas (Fig 6) de las cuales prácticamente todas, excepto la evaporación, cesan de actuar una vez que el concreto adquiere su fraguado final. De esta manera, si la pérdida por evaporación subsiste en el concreto recién fraguado, al cabo de algún tiempo la proporción de agua remanente se reduce a menos de la que el cemento requiere para continuar su hidratación y ésta se frena, e incluso se suspende por falta de agua.

La pérdida de agua por evaporación se produce principalmente por las superficies de la estructura expuestas al medio ambiente, de modo que el perjuicio por este concepto es máximo en dichas superficies, con tendencia a disminuir hacia el interior del concreto. Se dice (11) que normalmente la pérdida de agua por evaporación solamente afecta una capa superficial de concreto de 5 a 10 cm de espesor, y que más adentro el concreto conserva suficiente humedad (más de 80 por ciento) para su hidratación. Es por ello que este efecto detrimental no se detecta cuando se comprueba la calidad del concreto colocado en la estructura mediante la determinación de la resistencia en núcleos extraídos a mayor profundidad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la capa de concreto superficial es la que de ordinario resulta expuesta a las acciones perjudiciales que ponen en riesgo la durabilidad de las estructuras.

Además de la resistencia mecánica en sus diversos aspectos, la permeabilidad del concreto es la propiedad que más influencia tiene en la durabilidad de las estructuras. La resistencia mecánica no sólo es índice de la capacidad del concreto para soportar esfuerzos, sino también para resistir otras acciones físicas como la de abrasión mecánica e hidráulica, por ejemplo. Por su parte, la permeabilidad representa el grado de resistencia que el concreto opone a la penetración de fluidos agresivos (líquidos y gaseosos) que actúan como agentes promotores del deterioro prematuro del concreto y del acero de refuerzo. Debido a que ambas propiedades tienen como parámetro común la porosidad del concreto, resultan igualmente afectadas cuando la hidratación del cemento no se realiza cabalmente por deficiencia de humedad.

Para conservar el concreto con suficiente humedad durante sus primeras edades en que la hidratación evoluciona con mayor intensidad, existen dos procedimientos básicos aplicables en las superficies de la estructura expuestas al ambiente: 1) aportación de agua externa, para mantener continuamente húmedas las superficies expuestas a la evaporación, y 2) interposición de un elemento impermeable entre el concreto y el medio ambiente, para prevenir la fuga del agua interna por evaporación hacia el exterior. En teoría el primer procedimiento es más eficaz cuando se asegura su continuidad, y por ello se recomienda darle preferencia para el curado húmedo de concretos hechos con bajas relaciones agua/cemento (menos de 0.45); sin embargo, el impedimento de asegurar su continua aplicación en superficies verticales o de difícil acceso, o sobre superficies de concreto recién colocado, ha favorecido el uso del segundo procedimiento, ya sea mediante la utilización de telas plásticas o de compuestos líquidos que forman membrana.

En el caso de pisos y pavimentos de concreto hidráulico, y otros revestimientos similares, su durabilidad depende en gran medida de que la capa superficial de concreto posea una adecuada resistencia a la abrasión; pero debido a su gran superficie expuesta por unidad de volumen, son estructuras proclives a perder mayor cantidad de agua por evaporación, particularmente cuando se cuegan en un ambiente cálido, seco y con viento. Por tal motivo, la ejecución de un buen curado resulta de vital importancia en estos casos, para mantener húmedo el concreto recién colocado y así evitar que sufra agrietamientos por contracción plástica y la capa superficial se vea reducida en su resistencia mecánica, especialmente a la abrasión. La elección del procedimiento apropiado para curar estas estructuras requiere tomar en cuenta su oportunidad y eficacia, es decir, que pueda aplicarse a la mayor brevedad posible después del acabado superficial del concreto y que resulte efectivo para restringir la pérdida de agua por evaporación.

En una investigación de campo para definir el procedimiento de curado que debería aplicarse al revestimiento de concreto de los canales vertedores de una presa en el Estado de Chiapas (12) se ensayaron seis sistemas de curado cuyos efectos sobre la resistencia a compresión del concreto superficial se indican en la Fig 7 (12). Con base en estos resultados, el sistema elegido consistió en la aplicación inmediata de una membrana de curado sobre el concreto recién acabado (para cumplir con el aspecto de oportunidad) seguido por la colocación de una tela de polietileno al cabo del fraguado final (para complementar el requisito de eficacia). Procede hacer notar que en estas pruebas se juzgó la eficacia del curado mediante la resistencia a compresión del concreto superficial, al considerar ésta como índice de sus propiedades mecánicas en general; cuya inferencia también resulta válida para la resistencia a la abrasión, según se observa en la Fig 8 (13) que representa la mejoría que se obtiene en este aspecto cuando el concreto se cura convenientemente.

En cuanto a la permeabilidad, también existen numerosas evidencias del beneficio que se obtiene en este aspecto en el concreto superficial de las estructuras como consecuencia de un buen curado húmedo. A manera de ejemplo, en la Fig 9 (14) se compara la permeabilidad superficial del concreto cuando se expone al ambiente sin protección o humedecimiento y cuando se conserva continuamente húmedo; cuyo efecto positivo reafirma la importancia que tiene el curado para la durabilidad de las estructuras de concreto de todo tipo que deben prestar servicio en contacto con fluidos potencialmente agresivos al concreto y al acero de refuerzo, como es el caso de las que tienen contacto con aguas freáticas o suelos con alto contenido de sulfatos y/o cloruros, y de las que permanecen expuestas al agua de mar y sus salpicaduras, o simplemente al aire marino, ya que el efecto dañino de estos fluidos depende en buena medida de su grado de penetración en el concreto superficial.

Cambios Volumétricos

El concreto experimenta normalmente cambios volumétricos de diversa índole, desde que se encuentra recién colocado en la estructura hasta el final de su vida de servicio. Dichos cambios, que pueden ser predecibles, no suelen afectar la durabilidad de las estructuras cuando son moderados y se toman adecuadamente en cuenta en el diseño estructural; sin embargo, cuando se trata de contracciones que resultan mayores de lo previsto, y/o no se previenen las medidas estructurales necesarias, pueden ocurrir agrietamientos que con cierta frecuencia se convierten en puntos débiles por donde se inicia el deterioro de las estructuras de concreto.

Las causas de los principales cambios volumétricos del

concreto son sus variaciones de humedad y temperatura, de modo que al referirse en particular a las contracciones, éstas se relacionan con la disminución de la humedad y el descenso de la temperatura. En tal concepto, las condiciones ambientales más desfavorables son las que propician la evaporación del agua, como sucede en los sitios de clima caluroso y seco, y las que manifiestan grandes intervalos de variación entre las temperaturas máximas y mínimas.

La primera contracción importante del concreto es la que ocurre en el curso de la etapa de fraguado, que como se ha dicho se denomina contracción plástica y se acrecienta cuando el concreto recién colocado en las formas pierde agua por evaporación con demasiada rapidez. Se ha dicho también que la velocidad de evaporación se torna crítica cuando se aproxima a $1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ porque la contracción plástica alcanza magnitudes que fácilmente agrietan el concreto, ya que éste carece en esta etapa de capacidad para resistir los esfuerzos de tensión que se generan. Tales agrietamientos pueden evitarse normalmente con el uso de la medidas precautorias que más adelante se mencionan; pero cuando se producen y son detectados antes del fraguado final, pueden ser corregidos mediante la recompactación por apisonamiento enérgico del concreto en la superficie agrietada, cuidando de restablecer su integridad.

En la etapa de endurecimiento, que propiamente se inicia a partir del fraguado, el concreto sigue contrayéndose en la medida que continúa disminuyendo su contenido de humedad. Esta contracción que se conoce como contracción por secado, tiene una evolución relativamente rápida durante las primeras semanas, y después se hace más lenta pero continúa manifestándose en el curso del tiempo, incluso al cabo de 30 años, mientras el concreto permanece seco. Dicha contracción por secado, que es causa frecuente del agrietamiento de numerosas estructuras, depende significativamente de las características de los agregados y del contenido de pasta de cemento en el concreto, pero también puede ser incrementada por aspectos inherentes al clima caluroso, tales como el contenido de agua de mezclado del concreto y la humedad relativa del medio ambiente en que presta servicio la estructura.

En el primer aspecto, hay que tomar en cuenta que la demanda de agua de mezclado del concreto tiende a incrementarse en clima caluroso, por lo cual resulta útil toda medida que permita contrarrestar esa sobredemanda de agua en el mezclado de concreto, como puede ser por ejemplo el uso de aditivos reductores de agua, y en particular los llamados reductores de alta eficiencia (superfluidificantes) que permiten lograr reducciones hasta de 30 por ciento en el requerimiento de agua de mezcla. En cuanto al segundo aspecto, es un hecho evidente que al disminuir la humedad relativa del ambiente se

intensifica la pérdida de agua por evaporación del concreto, y esto repercute en la magnitud de su contracción por secado según se indica en la Fig 10 (15). Para moderar los efectos que en este aspecto producen las condiciones ambientales cálidas y secas, también ejerce influencia positiva la ejecución de un buen procedimiento de curado húmedo, conforme se hace notar en la Fig 11 (16). Aquí es oportuno señalar que una medida importante para reducir los agrietamientos debidos a la contracción por secado (y por los cambios volumétricos en general) consiste en definir juntas de servicio adecuadas (contracción y/o expansión) en las estructuras, para lo cual dicha contracción debe evaluarse conforme a los métodos de predicción de uso aceptado, como por ejemplo el ACI 209 (17).

La contracción debida al primer descenso de temperatura del concreto se produce en el curso del tiempo que el concreto de la estructura tarda en igualar su temperatura con la del medio ambiente; y su magnitud depende básicamente del coeficiente de expansión térmica del concreto y de la diferencia que existe entre la temperatura máxima del concreto y la del ambiente. El coeficiente de expansión térmica del concreto lo determina principalmente la naturaleza de los agregados que lo constituyen, de modo que en un caso dado no es un factor susceptible de maniobra; por consiguiente, para moderar la contracción de origen térmico el recurso básico consiste en restringir la sobreelevación de temperatura del concreto en la estructura.

La temperatura máxima del concreto después de ser colocado en estructuras ordinarias (no voluminosas) se produce en el término de pocos días (Fig 12) y su magnitud es consecuencia de diversos factores entre los que destacan: la temperatura inicial del concreto, el tipo y consumo unitario de cemento, y las condiciones de acumulación y disipación de calor que son propias de cada estructura. De estos factores el que propiamente guarda relación con el medio ambiente se refiere a la temperatura inicial del concreto, de manera que la disminución de ésta es un medio adecuado para reducir el intervalo en que debe descender la temperatura, según se muestra en la Fig 12, y por consiguiente para reducir también la magnitud de la contracción térmica y su correspondiente riesgo de agrietamiento. Para disminuir la temperatura inicial de colocación del concreto en clima caluroso existen diversas medidas aplicables que se hallan descritas con detalle en el informe del Comité ACI 305 (3) y de las cuales se hace un resumen más adelante.

De igual manera que en el caso de la contracción por secado, una medida necesaria para prevenir los agrietamientos por contracción térmica consiste en la adecuada definición de juntas en la estructura que permitan absorber los cambios volumétricos de origen térmico: tanto la primera contracción debida al enfriamiento inicial del concreto a edad temprana,

como las expansiones y contracciones subsecuentes que se producen en el curso de la vida de servicio de la estructuras por efecto de las variaciones de temperatura ambiental, particularmente las que se localizan en regiones como la zona A del territorio nacional en que los cambios estacionales son extremos, para cuyo objeto debe hacerse la correspondiente evaluación anticipada de dichos cambios volumétricos de origen térmico (17). Es asimismo pertinente señalar que las juntas de servicio no solamente deben ser motivo de una adecuada localización y diseño, sino también de una apropiada construcción y mantenimiento, pues de no ser así pueden convertirse en sitios localizados de debilidad en la estructura, especialmente susceptibles al deterioro prematuro.

MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS

Las medidas para prevenir y corregir los efectos perjudiciales del clima caluroso sobre el concreto, y sus correspondientes repercusiones adversas a la durabilidad de las estructuras, deben adoptarse en las etapas de diseño y construcción y complementarse en la etapa de servicio con un adecuado mantenimiento. La aplicación de estas medidas, cuya eficacia guarda cierta relación con su grado de dificultad y costo, se define normalmente en función de las características e importancia de la estructuras y de las condiciones climáticas en que éstas deben construirse y prestar servicio. Muchas de estas medidas van encaminadas principalmente a evitar o por lo menos restringir los agrietamientos del concreto, ya que éstos suelen dar motivo al deterioro anticipado de la estructuras (18).

Previsiones de Diseño Estructural

En las estructuras que se justifique, debe preverse la instalación de juntas de servicio para absorber en la mayor medida posible las contracciones y/o expansiones del concreto, debidas a las variaciones de humedad y temperatura; sin menoscabo del acero de refuerzo necesario para tomar los esfuerzos inducidos por estos cambios volumétricos. (Conviene prever el refuerzo adecuado para distribuir las grietas, a modo de no exceder en éstas una abertura máxima especificada). Para tal fin deben estimarse adecuadamente dichos cambios de volumen, de acuerdo con las características de la estructura (dimensiones, forma, espesores), del concreto (naturaleza de los agregados, tipo de cemento, proporciones) y del clima y ambiente de servicio (temperatura, humedad relativa), conforme a los procedimientos y criterios usuales (17).

Diseño de la Mezcla de Concreto

El diseño de la mezcla de concreto no sólo debe ser

12

adecuado para lograr las propiedades especificadas en el concreto endurecido, sino también para obtener un adecuado comportamiento del concreto en estado fresco y en curso de endurecimiento, mediante una acertada selección de sus componentes. Dado que la fuente de suministro de los agregados frecuentemente no es opcional, las posibilidades selectivas se refieren principalmente al cemento y los aditivos.

Es deseable emplear preferentemente un cemento portland tipo II, porque su moderado calor de hidratación resulta útil para restringir la sobreelevación de temperatura del concreto en sus primeras edades y su correspondiente cambio volumétrico. Una alternativa viable para el mismo fin consiste en utilizar un cemento portland-puzolana; pero como hay cementos de esta clase que incrementan la demanda de agua de mezclado y/o aceleran la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado, es recomendable efectuar pruebas al concreto en condiciones de obra con el cemento propuesto. Otra condición que debe evitarse es el uso de un cemento con falso fraguado.

Los aditivos para concreto de uso más frecuente en clima caluroso son los que tienen la doble función de ser reductores del agua de mezcla y retardadores del fraguado. El primer efecto tiene utilidad para compensar el incremento en la demanda de agua que ocurre al mezclar el concreto en tiempo caluroso, en tanto que el segundo suele ser necesario para contrarrestar la aceleración del fraguado que se produce al aumentar la temperatura. Existen dos categorías de aditivos de esta índole: los reductores de agua normales y los de alta eficiencia; actualmente hay la tendencia a preferir los segundos, no obstante que su costo unitario es más alto. En cualquier caso es recomendable verificar en obra el comportamiento de la mezcla de concreto con el cemento y el aditivo propuestos, pues hay cementos y aditivos que no son compatibles porque generan reacciones inmediatas que rigidizan rápidamente el concreto recién mezclado.

La mezcla de concreto debe diseñarse con el mínimo consumo de cemento que sea posible, con el fin de reducir los cambios volumétricos por sobreelevación de temperatura y por secado. Si la estructura se construye en donde ocurren muy bajas temperaturas invernales (como hay sitios en la zona climática A del territorio nacional) debe prevenirse el uso de un aditivo inclusor de aire, no obstante que la construcción se efectúe en condiciones de clima caluroso.

Elaboración del Concreto

Conforme se ha dicho, la temperatura inicial del concreto es uno de los factores que determina la temperatura máxima que alcanza el concreto en la estructura. Por tal motivo, para

moderar esta sobre elevación de temperatura, un medio eficaz consiste en disminuir al mínimo posible la temperatura inicial del concreto, lo cual en clima caluroso requiere la adopción de una serie de medidas con diverso grado de eficacia, cuya aplicación depende de la diferencia entre la temperatura natural del concreto sin el uso de estas medidas y el nivel de temperatura que se pretende darle. También se ha mencionado que no hay un tope único para la temperatura inicial de colocación del concreto porque deben tomarse en cuenta las condiciones de generación, acumulación y disipación de calor de cada estructura en particular. Así, en términos generales, para estructuras voluminosas los requerimientos son muy estrictos, por lo que se especifican temperaturas máximas de colocación del concreto (en cualquier clima) que suelen variar entre 12 y 24°C, aproximadamente, de acuerdo con su espesor y otros aspectos. Para estructuras no voluminosas, pero de grandes dimensiones y/o con importantes requisitos de servicio, es frecuente cuando se construyen en clima caluroso especificar para la temperatura de colocación del concreto un valor máximo comprendido entre 24 y 32°C, aproximadamente, según el caso. Finalmente en estructuras menores y/o de poca importancia no es común que se especifique una temperatura máxima permisible de colocación del concreto, aun cuando es deseable no sobrepasar los 38°C durante tiempo caluroso.

Para conseguir que la temperatura del concreto recién mezclado no rebase el límite máximo que se especifique, cuando la temperatura ambiente es del mismo orden o mayor que éste, existen diversas medidas aplicables que se mencionan a continuación; cuya complementación debe intentarse gradualmente a fin de obtener la temperatura requerida al menor costo posible:

En los componentes--Regar continuamente con agua por aspersión el agregado grueso, para mantenerlo superficialmente húmedo. Proteger con aislamiento térmico el depósito y las tuberías de circulación del agua para el mezclado del concreto. No utilizar cemento caliente (no más de 60°C, aproximadamente). Proteger del sol los depósitos de agregados para uso inmediato, adjuntos a la planta de concreto.

Al elaborar el concreto--Efectuar los colados en las horas de menor temperatura ambiental (de ser posible por la noche). Pintar de blanco exteriormente la revolvedora central y proteger del sol el sitio de mezclado. Evitar el exceso de tiempo de mezclado. Utilizar hielo en escamas o molido en substitución de una fracción del agua neta de mezclado, o bien utilizar en su totalidad agua preenfriada como agua de mezcla, o bien inyectar nitrógeno líquido en la revolvedora en movimiento para enfriar la mezcla de concreto en curso de elaboración.

Transporte, Colocación, Compactación y Acabado

Durante colados en clima caluroso, estas operaciones requieren ser planeadas cuidadosamente debido a la influencia adversa que estas condiciones climáticas ejercen sobre la pérdida de revenimiento y la rigidización prematura del concreto recién mezclado, de modo que dichas operaciones se realicen de manera expedita y con la debida protección al concreto contra la acción directa del sol y del viento. Cuando el concreto se transporta en mezcladoras en tránsito, es útil pintarlas exteriormente de blanco, y cuando se coloca con bomba, es conveniente cubrir las tuberías con aislamiento térmico. Atención especial requieren las operaciones de acabado de las superficies libres, a fin de que se lleven a cabo oportuna y rápidamente para poder darle protección inmediata contra la evaporación a estas superficies.

Protección al Concreto recién Colocado

Al término del acabado, las superficies libres deben protegerse contra la pérdida de agua por evaporación. A fin de poder hacerlo de inmediato, es conveniente el uso de una membrana de curado de buena calidad, aplicada por aspersión muy fina sobre la superficie recién terminada. Es también conveniente complementar dicha protección cubriendo estas superficies ya fraguadas con una tela de polietileno o manteniéndolas continuamente humedecidas. En las superficies moldeadas, las cimbras no soportantes deben retirarse lo más pronto que permita el endurecimiento del concreto, a fin de proteger éste con la citada membrana de curado o por humedecimiento continuo. Las cimbras soportantes deben retirarse cuando el concreto alcance la resistencia requerida para ello, y las superficies recién desmoldadas deben protegerse del mismo modo; de ser posible, el concreto debe conservarse húmedo en el lapso anterior al descimbrado mediante la aplicación de agua a las cimbras, o cubriéndolas con lienzos húmedos.

Mantenimiento de las Estructuras

El mantenimiento más eficaz es el que se realiza de manera preventiva, es decir, corrigiendo las causas más que los efectos. En relación con las estructuras que prestan servicio en ambiente cálido, y en especial si es húmedo (como prevalece en la zona climática C del territorio nacional) merece particular atención la existencia de agrietamientos, porque éstos son motivo frecuente de efectos deteriorantes como la corrosión del acero de refuerzo por ejemplo. Por tal consideración es muy necesario detectar oportunamente la aparición de grietas y darles el tratamiento correctivo adecuado a su origen (19), a fin de prolongar la vida útil de las estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control de la Comisión Federal de Electricidad las facilidades brindadas para la elaboración de este artículo, y a la Srta. Martha Gómez Toledo la eficiente transcripción del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Mays, G.C. "The Behaviour of Concrete". Durability of Concrete Structures, Chapter 1. E and FN Spon Publishers. London, UK. 1992
2. ACI Committee 306. "Cold Weather Concreting". Report ACI 306R. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1988.
3. ACI Committee 305. "Hot Weather Concreting". Report ACI 305R. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1991
4. U.S. Bureau of Reclamation. "Concrete Manual". Eighth Edition. U.S. Department of the Interior. Washington, D.C., USA. 1975. p 255.
5. Lerch, W. "Plastic Shrinkage". ACI Journal. Vol. 53, No. 8. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1957.
6. Tamayo, J.L. "Geografía Moderna de México". Editorial Trillas. Novena Edición. México, D.F., MEX. 1980.
7. Portland Cement Association. "Design and Control of Concrete Mixtures". Eleventh Edition. Skokie, Ill., USA. 1968.
8. Verbeck, G. and Copeland, L.E. "Some Physical and Chemical Aspects of High Pressure Steam Curing". ACI SP-32, Paper 1. American Concrete Institute. Detroit, Mich., USA. 1972.
9. Price, W.H. "Factors Influencing Concrete Strength", ACI Journal. Vol. 47, No. 7 American Concrete Institute. Detroit, Mich. USA. 1972.
10. ACI Committee 308. "Standard Practice for Curing Concrete". American Concrete Institute. Detroit, Mich., USA. 1986.
11. Carrier, R.E. "Concrete Curing Tests". Concrete International, Design and Construction. Vol. 5. No. 4. American Concrete Institute, Detroit, Mich. 1983.

- 19
12. Comisión Federal de Electricidad. "Control del Concreto Durante la Construcción de Grandes Obras". Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F. MEX. 1976.
 13. Kettle, R. and Sadegzadeh, M. "The Influence of Construction Procedures on Abrasion Resistance". ACI SP-100, Paper 71. American Concrete Institute. Detroit, Mich. USA. 1987.
 14. Montgomery, R.E., Basheer, P.A.M. and Long, A.E. "Influence of Curing Conditions on the Durability Related Properties of Near Surface Concrete and Cement Mortars". ACI SP-131, Paper 5. American Concrete Institute. Detroit, Mich. USA. 1992.
 15. Troxell, G.E., Raphael, J.J. and Davis, R.E. "Long-Time Creep and Shrinkage Tests of Plain and Reinforced Concrete". ASTM Proceedings, Vol. 58. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. USA. 1958
 16. Senbetta, E. and Malchow, G. "Studies on Control Durability of Concrete Through Proper Curing". ACI SP-100, Paper 7. American Concrete Institute. Detroit, Mich. USA. 1987.
 17. ACI Committee 209. "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures". American Concrete Institute. Detroit, Mich. USA. 1986.
 18. The Concrete Society. "Non-Structural Cracks in Concrete". Concrete Society Technical Report No. 22. London, UK. 1982.
 19. Comisión Federal de Electricidad. "Manual de Mantenimiento para Concreto". Subdirección de Producción. Gerencia de Generación. Subgerencia de Ingeniería Civil. México, D.F. MEX. 1991.

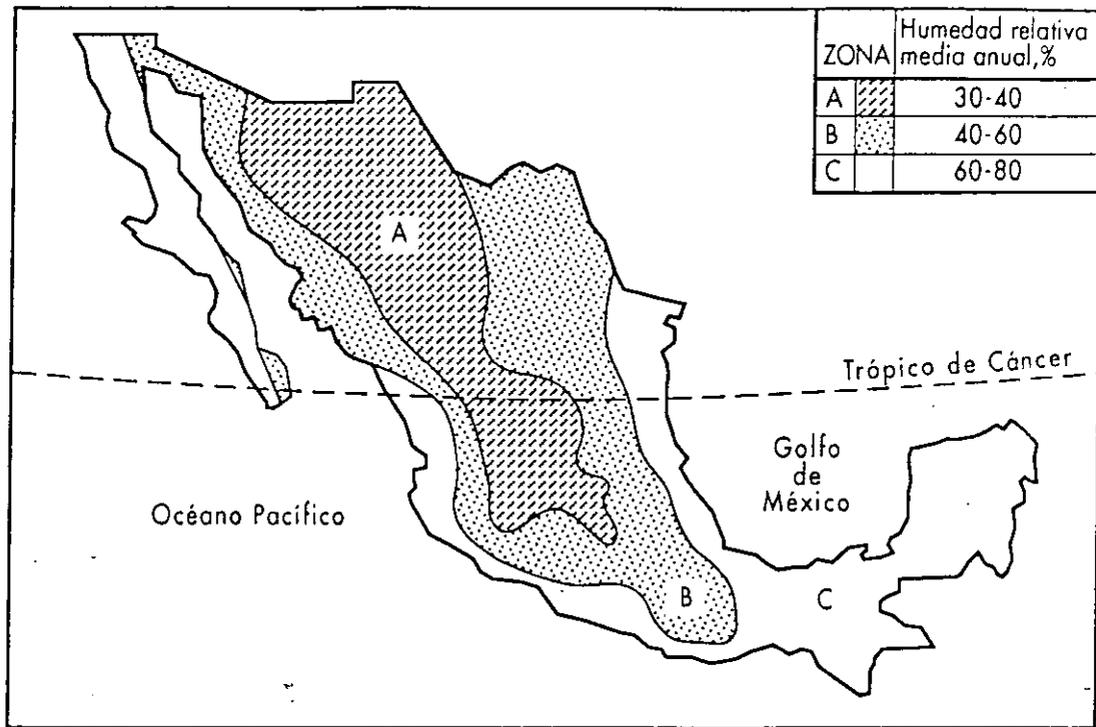


Fig. 1--Zonas locales definidas por humedad relativa (6)

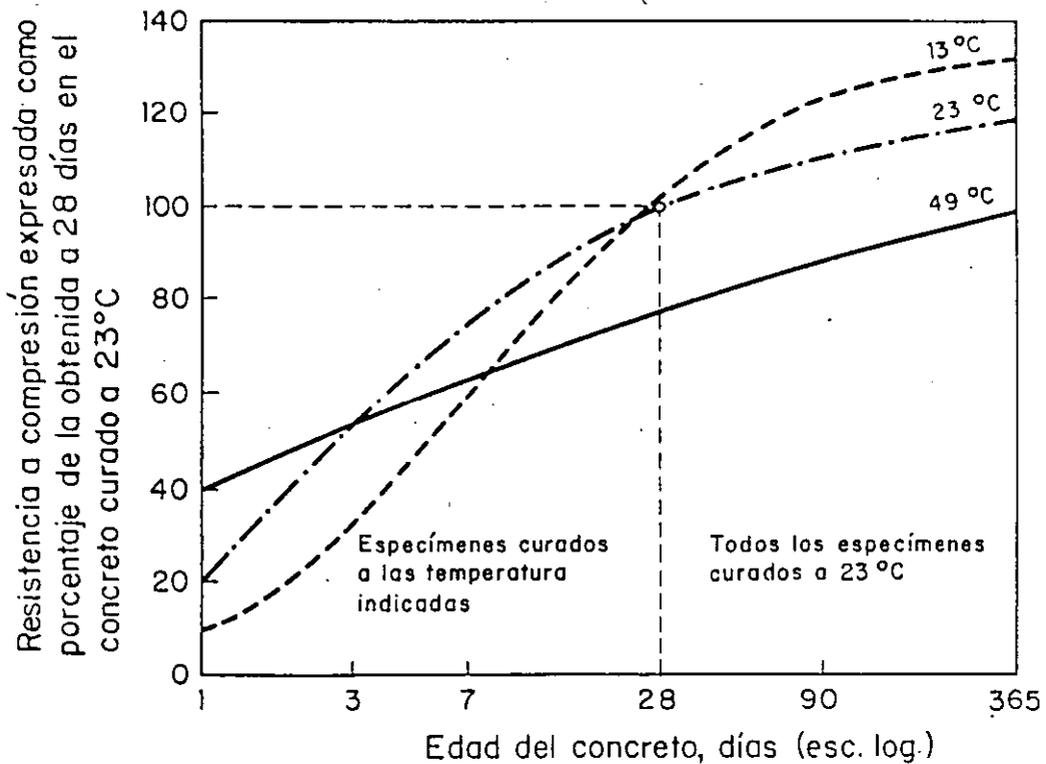


Fig. 2--Evolución de resistencia según la temperatura (7)

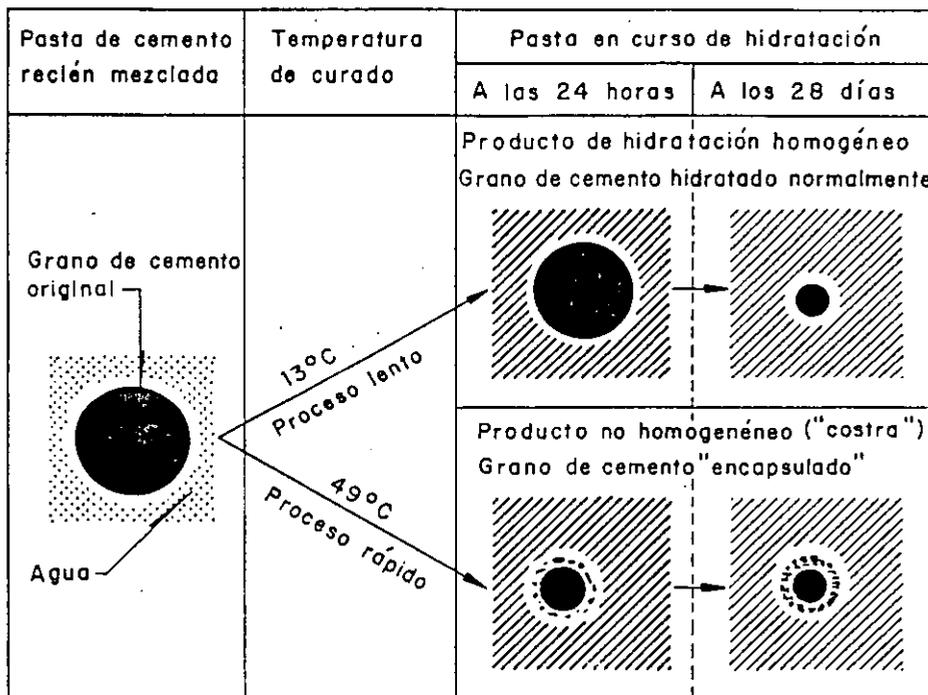


Fig. 3-- Hidratación del cemento en alta y baja temperatura (8)

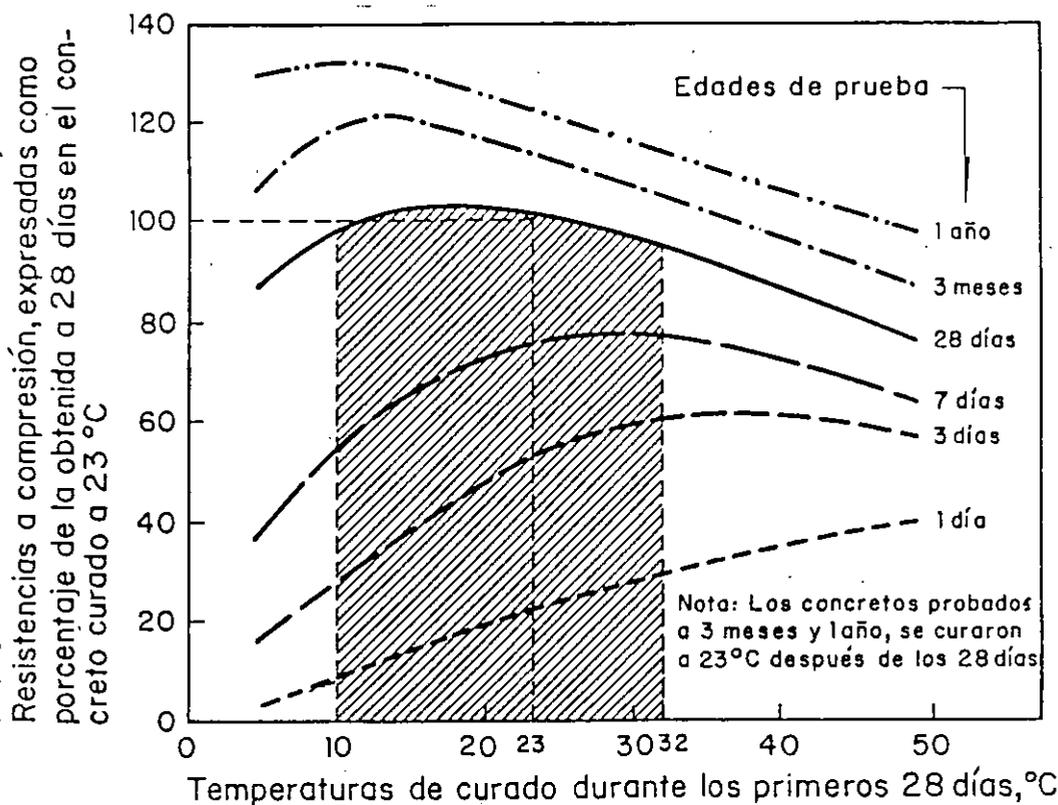


Fig. 4--Resistencias a diversas temperaturas y edades (7)

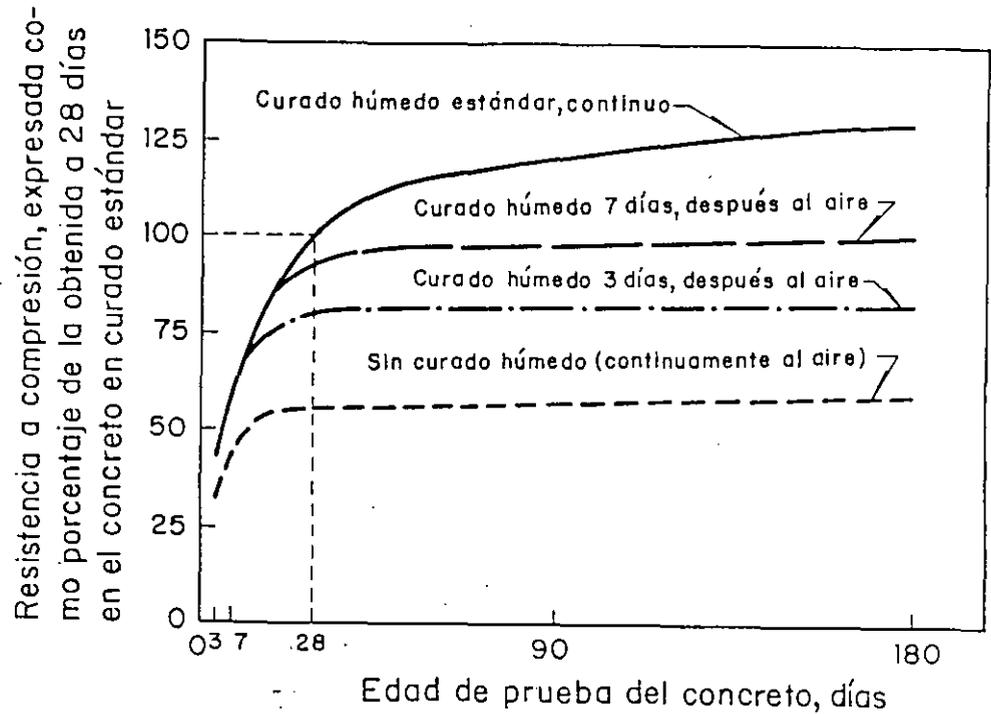


Fig. 5--Detrimiento en la resistencia a compresión del concreto por falta de curado húmedo (9)

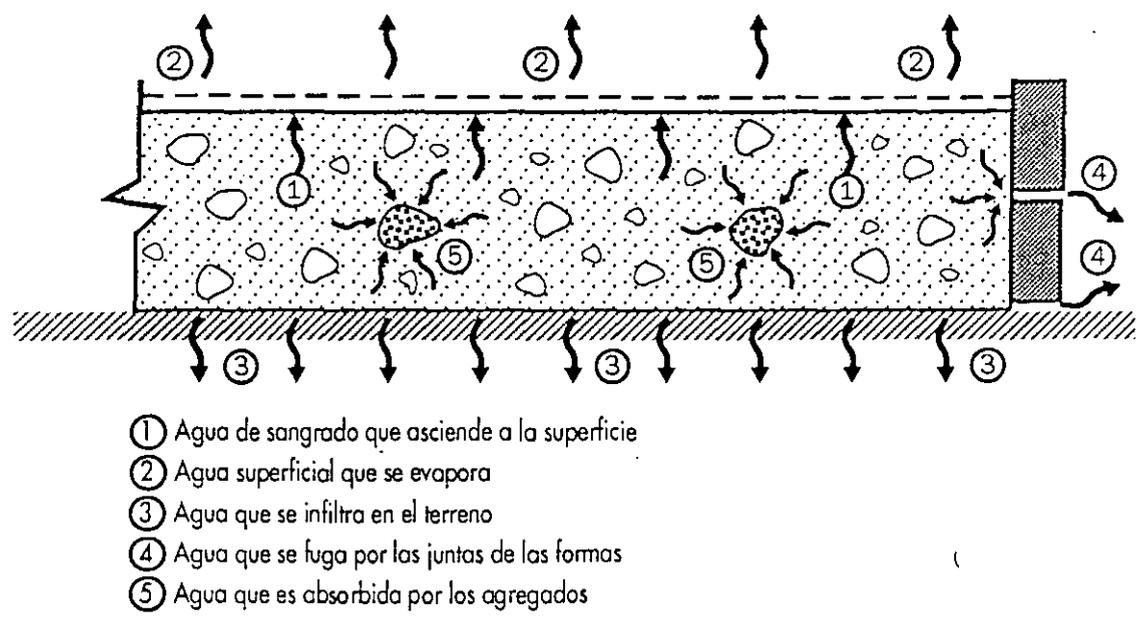
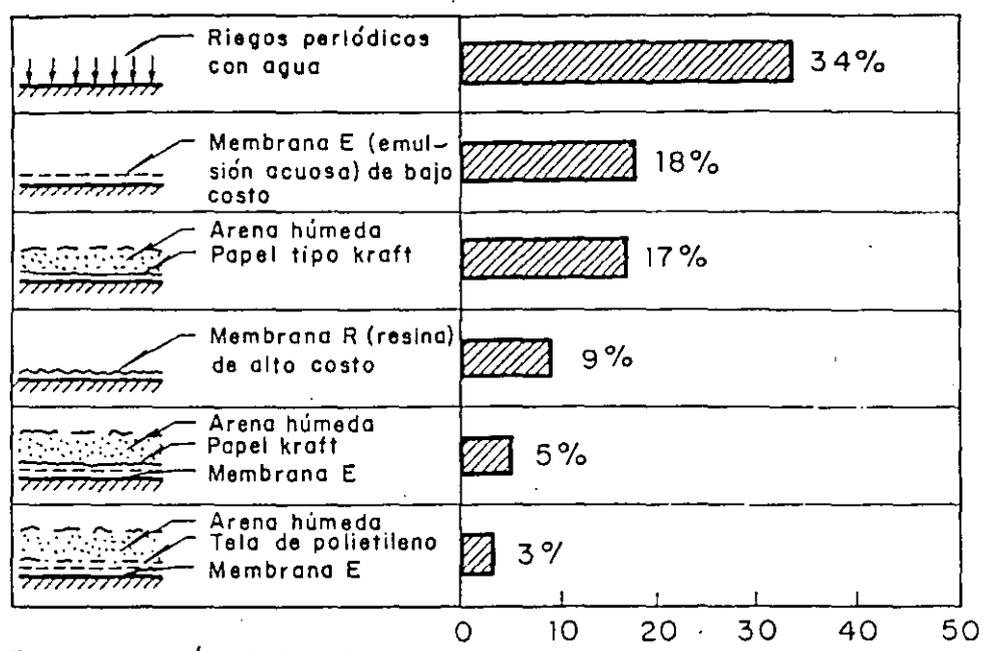


Fig. 6--Algunas causas frecuentes de la pérdida de agua en el concreto recién colocado



Representación de los sistemas de curado experimentados Disminución de la resistencia a compresión del concreto en la superficie, por efecto del curado, porcentaje a 28 días

Fig. 7--Eficiencia de diversos sistemas de curado (12)

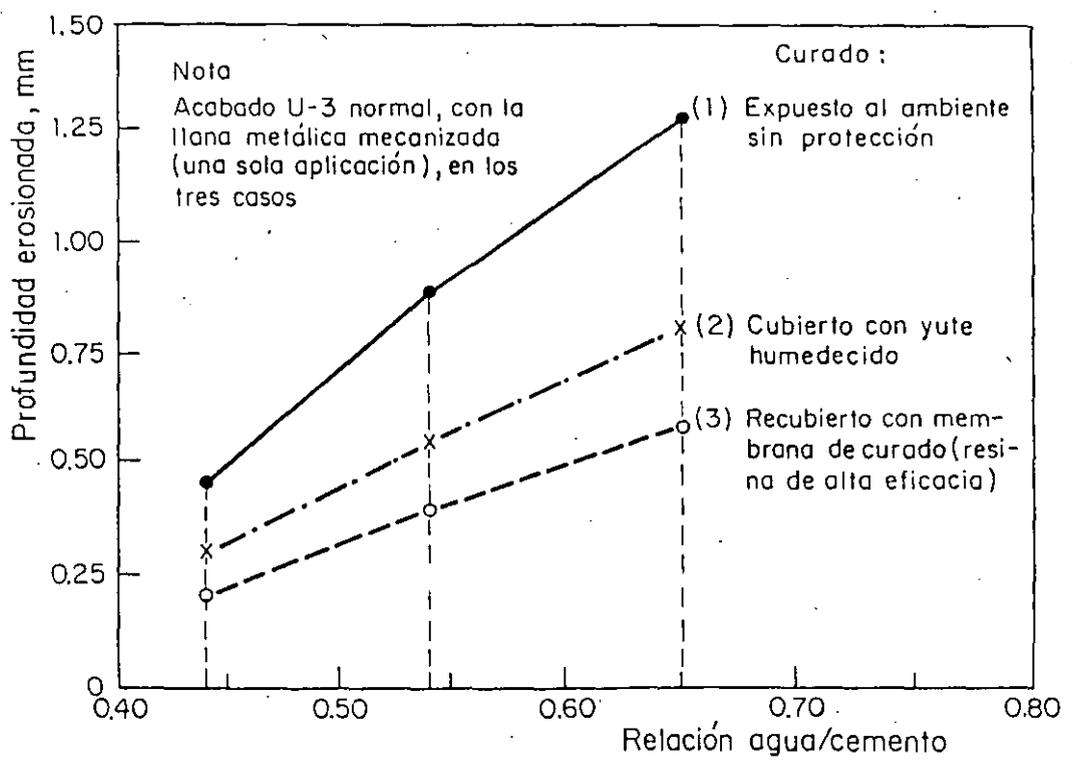


Fig. 8--Resistencia a la abrasión con diverso curado (13)

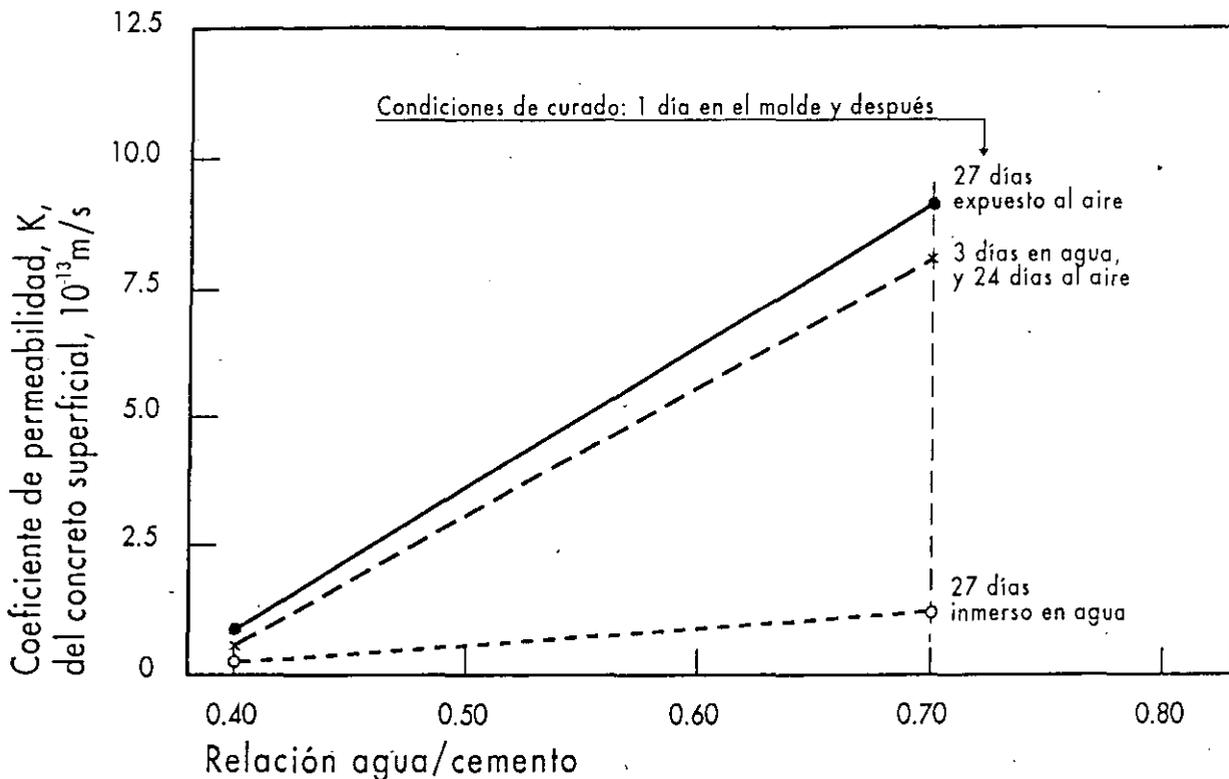


Fig. 9--Permeabilidad superficial según el curado (14)

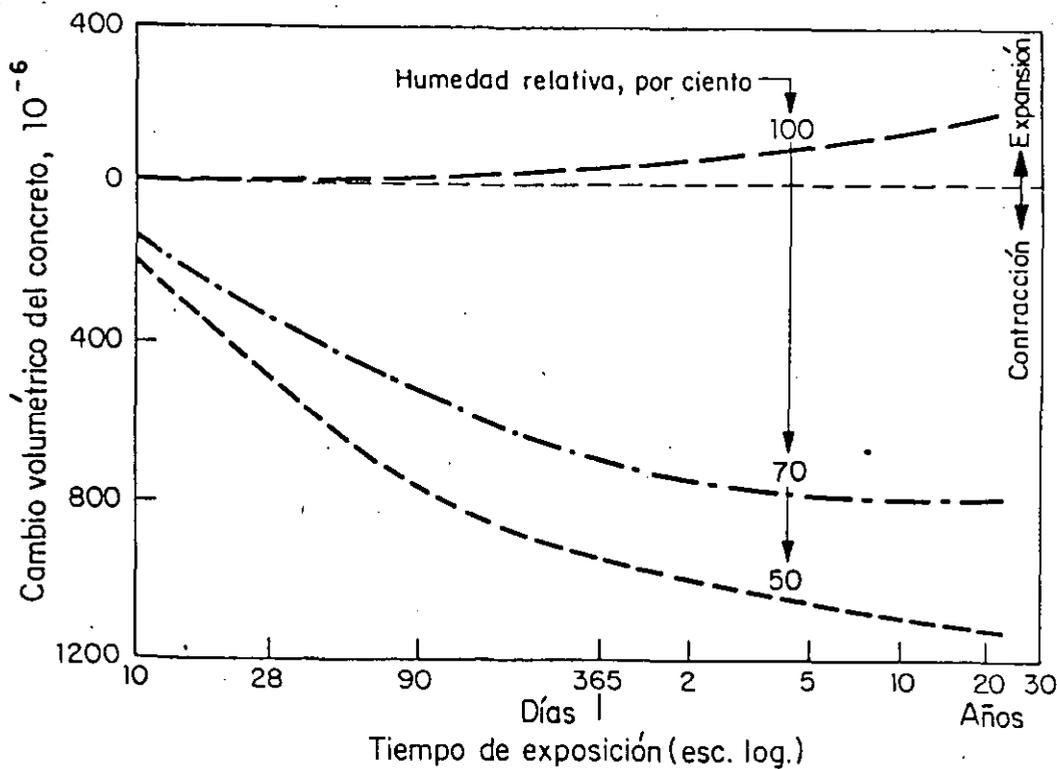


Fig. 10--Contracción por secado en distinta humedad (15)

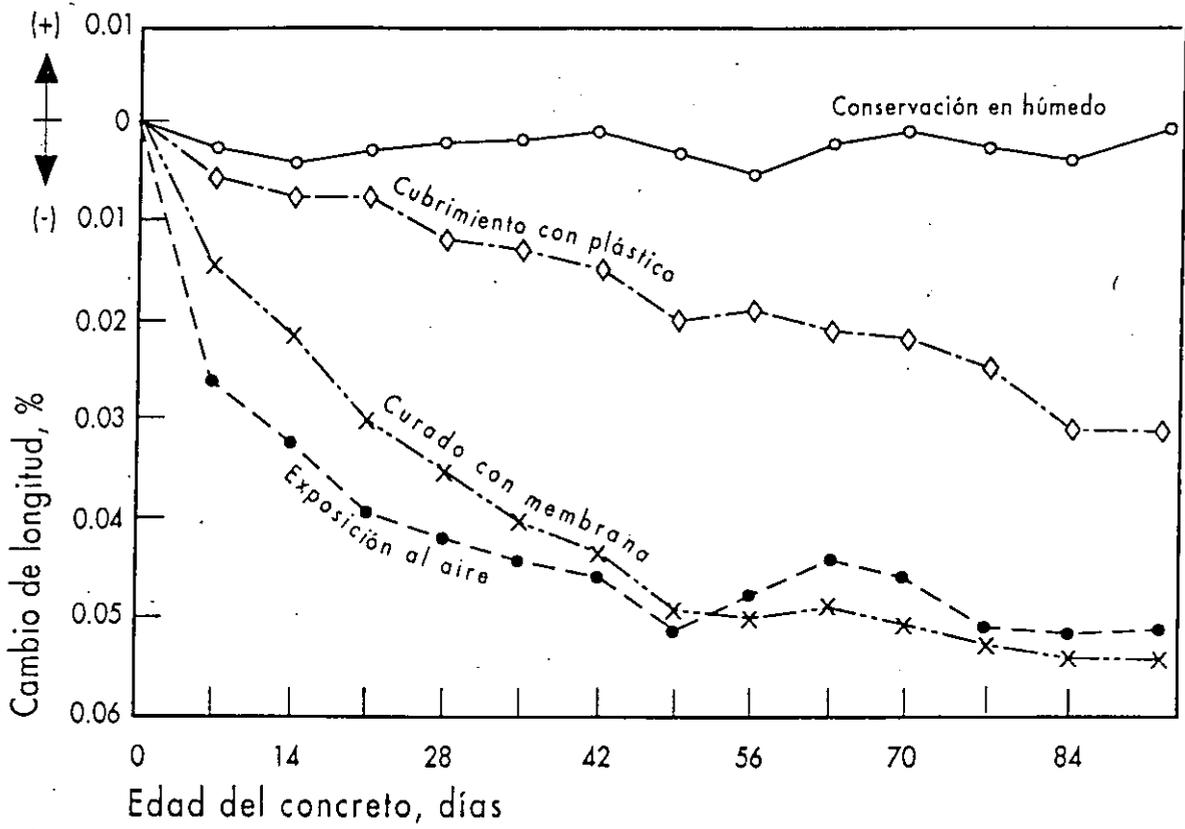


Fig. 11--Influencia del curado en la contracción por secado(16)

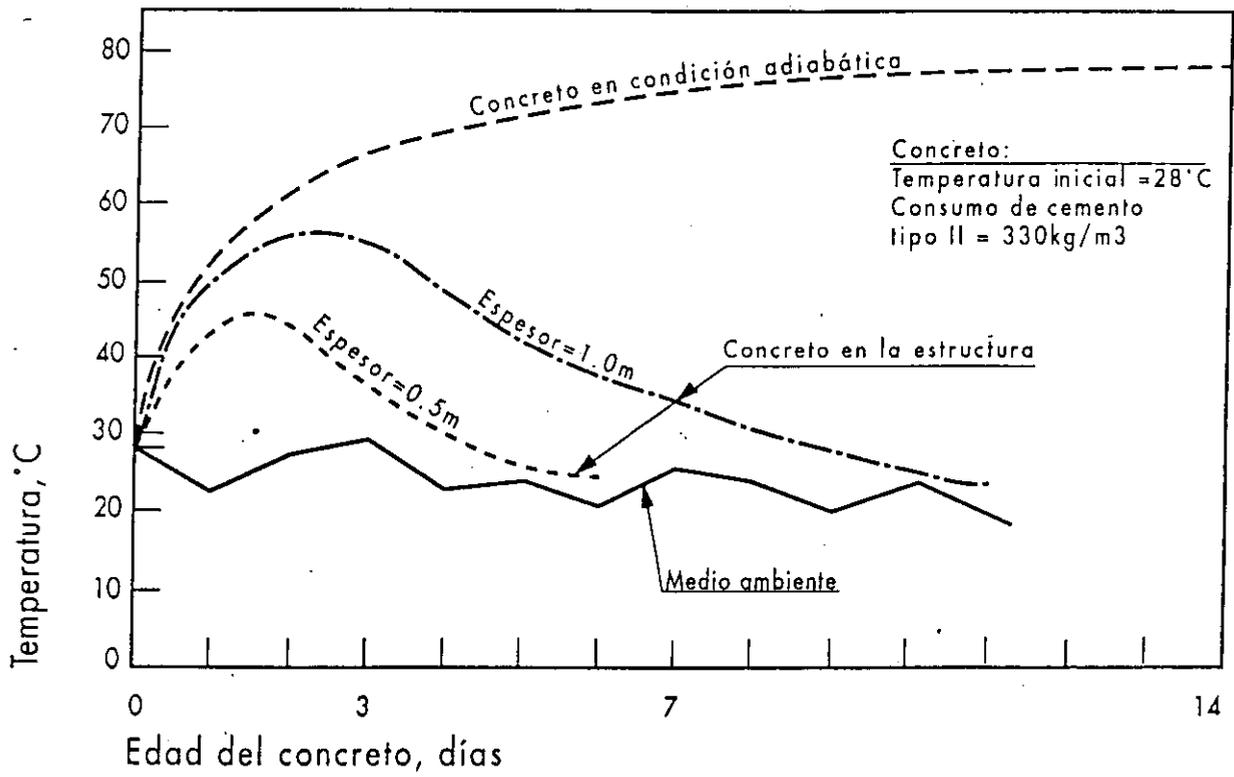


Fig. 12--Evolución del calor interno en varias condiciones

LA CORROSION DEL ACERO DE REFUERZO COMO CAUSA DEL
DETERIORO PREMATURO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Por

Manuel Mena Ferrer

SINOPSIS

La corrosión del acero de refuerzo se ha constituido, por su elevada frecuencia, en un importante factor de riesgo para el deterioro prematuro de las estructuras de concreto reforzado, en un grado tal que ahora obliga a erogar grandes sumas de dinero para el mantenimiento y reparación de las estructuras afectadas en numerosos países. Debido a que el riesgo de corrosión se acrecienta en estructuras que prestan servicio en contacto con medios corrosivos, tales como el agua de mar y el ambiente marino, su incidencia es mayor en países que como México tienen extensos litorales marítimos.

En este trabajo de divulgación se pasa revista a las causas y condiciones que propician el fenómeno de corrosión del acero de refuerzo, los efectos detrimentales que produce en las estructuras de concreto reforzado, y las medidas asequibles para prevenirlo y prolongar así la vida útil de tales estructuras. Asimismo se describen los procedimientos usuales para la oportuna detección del grado de avance del proceso de corrosión y para la reparación de los daños que ocasiona.

Palabras clave: concreto reforzado, acero de refuerzo, corrosión, medios corrosivos, agua de mar, cloruros, proceso electroquímico, protección anticorrosiva, durabilidad, mantenimiento, reparación.

BREVE REPASO HISTORICO

El registro de la patente por la invención del cemento portland en Inglaterra data del año 1824, si bien su fabricación en Norteamérica (EUA) comenzó alrededor de 1870. En sus inicios, el empleo de este cemento se dedicó esencialmente a la ejecución de trabajos de mampostería y a la construcción de obras compuestas por elementos estructurales de concreto simple.

La primera patente formal registrada en EUA de concreto reforzado con barras de acero se remonta al año 1882, y de esta misma época data también (1885) el registro de la patente por el uso del cloruro de calcio como acelerante del concreto. Sin embargo, la utilización de estas innovaciones fue relativamente limitada en los años restantes para finalizar el siglo 19.

De hecho, el empleo del concreto reforzado cobró impulso a partir del comienzo del siglo 20, y ya de entonces hubo información acerca de casos de corrosión en el acero de refuerzo. De este modo, por el año 1910 la incidencia del fenómeno en EUA era tal que justificó una investigación auspiciada por el National Bureau of Standards (NBS), cuyos resultados publicados en 1919 involucraron específicamente al fenómeno de electrólisis en el proceso de corrosión del refuerzo, aunque con un enfoque limitado al efecto de las corrientes eléctricas vagabundas en las estructuras, pasando por alto la influencia de los cloruros.⁽¹⁾

A mediados del presente siglo, en la década de los años '50, el tema de la corrosión del acero de refuerzo despertó nuevo interés alimentado por el auge constructivo que siguió a la segunda guerra mundial. Por estos años, la práctica adoptada entonces en EUA acerca del uso del cloruro de calcio, no sólo como acelerante sino también como sal descongelante para mantener abiertos al tránsito las autopistas y puentes durante el invierno, incrementó los casos de corrosión y condujo al reconocimiento del papel que los cloruros desempeñan "per se" como agentes de la corrosión del acero de refuerzo en el concreto.

En años más recientes, el problema de la corrosión del acero de refuerzo adquirió mayor relevancia hasta convertirse en una de las principales causas de daño precoz para las estructuras de concreto reforzado. A ello contribuyeron varios factores entre los cuales cabe destacar: 1) insuficiencia en las medidas preventivas contra la corrosión, adoptadas en las estructuras construidas en las décadas precedentes, 2) uso indiscriminado de aditivos con cloruros, en la elaboración de concreto destinado a la construcción de estructuras con alto riesgo de padecer corrosión, y/o en donde el efecto de la corrosión es más nocivo como ocurre en el concreto presforzado, y 3) utilización del concreto en nuevas aplicaciones, como las plataformas marítimas para pozos petroleros y las instalaciones de la industria petroquímica, cuyas estructuras prestan servicio en contacto con medios de elevada corrosividad.

En la actualidad, la información proveniente de EUA hace referencia a numerosas estructuras de concreto reforzado, principalmente losas de puentes, que denotan deterioro por corrosión del acero de refuerzo, y para cuya reparación y mantenimiento se requiere la erogación de grandes cantidades de dinero.⁽²⁾ En lo que se refiere a México, toda proporción guardada, también son impresionantes las pérdidas potenciales que se mencionan y los gastos que ocasiona la reparación de daños debidos al fenómeno de corrosión;⁽³⁾ situación que podría empeorar en el futuro si no se adoptan ahora medidas adecuadas para prevenir la corrosión temprana del acero de refuerzo, particularmente en las estructuras que deben prestar servicio en contacto con aguas, suelos y ambientes corrosivos.

DESARROLLO DE LA CORROSION

Aunque eventualmente el acero de refuerzo puede sufrir corrosión por ataque químico directo, la gran mayoría de las veces este fenómeno se produce como consecuencia de un proceso de carácter electrolítico; a su vez éste puede ser generado por el paso de corrientes eléctricas extraviadas a través de las estructuras, o por la formación de celdas galvánicas a lo largo de las varillas de refuerzo, siendo este último el caso que se presenta con mayor frecuencia.

La corrosión de las varillas por ataque directo puede ocurrir por efecto de las emanaciones de sustancias químicas corrosivas que se producen en algunos procesos industriales. En tal concepto, este tipo de corrosión representa un caso muy localizado, cuya prevención requiere un tratamiento de protección que sea acorde con la naturaleza e intensidad de las sustancias agresivas específicamente involucradas en el ataque.

Las corrientes eléctricas extraviadas, o vagabundas, corresponden a fugas de corriente que se producen en algunas instalaciones o sistemas eléctricos que operan con corriente directa, como trenes y plantas de galvanoplastia. Tales corrientes, que también constituyen casos aislados, al circular por las varillas de acero de refuerzo embebidas en el concreto dan lugar al fenómeno de electrólisis y al proceso de corrosión. Cabe mencionar que en los primeros usos del concreto reforzado, a esta causa se le concedió mayor participación de la que realmente tiene en el conjunto de los casos de corrosión que se presentan.

La causa más frecuente de corrosión del acero de refuerzo corresponde, según se mencionó antes, a la formación de celdas galvánicas a lo largo de las varillas. Una celda galvánica, o electrolítica, se forma cuando dos metales de diferente potencial eléctrico (electrodos) se hallan inmersos en un medio acuoso de composición química adecuada (electrólito); en estas condiciones, al conectar ambos metales con un conductor de la electricidad, se establece un flujo de electrones que van del metal de mayor potencial (ánodo) al de menor potencial (cátodo) y de esta manera

el primero se corroe. (Fig 1).

Este mismo fenómeno puede producirse en el interior del concreto reforzado, sin que se requiera la presencia de dos metales distintos. En este caso, lo que ocurre es que a lo largo de una misma varilla de refuerzo pueden existir puntos con diferente potencial eléctrico (por causas diversas) los cuales funcionan como electrodos inmersos en la solución de poro del concreto que actúa como electrólito, y así se forman diminutas celdas galvánicas que producen corrosión en los puntos de la varilla que fungen como ánodos, actuando la propia varilla como elemento conductor del flujo de electrones. (Fig 2).

Una vez constituida la celda galvánica en la superficie de la varilla, la evolución del proceso corrosivo puede describirse de manera sucinta así: 1) en el ánodo, el fierro se oxida para producir iones ferrosos (Fe^{++}) que pasan en solución al electrólito, 2) los electrones liberados por la reacción anterior (e^-) circulan por la varilla hasta llegar al cátodo, en donde mediante un proceso de reducción en presencia de agua y oxígeno se producen iones de hidroxilo (OH^-), 3) al retornar éstos al ánodo por conducto del electrólito se combinan con los iones ferrosos ahí presentes para producir hidróxido ferroso, el cual se convierte a hidróxido férrico y mediante subsecuentes reacciones termina por formar los productos de corrosión que se manifiestan como herrumbre.

Debido a que el volumen de la herrumbre es varias veces mayor que la suma de los volúmenes individuales de los componentes, su formación crea presiones en el concreto alrededor de la varilla originando grietas e incluso el desprendimiento del concreto que la recubre. Es pertinente observar que para el desarrollo de la corrosión se requiere la presencia de agua y oxígeno en el medio que rodea la varilla; esto significa que la corrosión no evoluciona si el concreto se halla completamente seco (ausencia de agua) o bien si se halla completa y continuamente sumergido (ausencia de oxígeno).

CONDICIONES PARA LA CORROSION

En teoría, el concreto que recubre a las varillas de acero de refuerzo les proporciona suficiente protección contra el fenómeno de corrosión electrolítica, por efecto de dos principales acciones defensivas: 1) la resistencia física que el concreto opone a la penetración de agua y aire del exterior, y 2) la inhibición del proceso corrosivo, que el concreto favorece por su elevada alcalinidad. En la práctica, el grado de eficacia de esta protección es muy variable, pues depende de la calidad, integridad y espesor del recubrimiento superficial de concreto sobre las varillas, y de la factibilidad de que el concreto conserve su nivel de alcalinidad original en el curso del tiempo, en función de las características fisico-químicas del medio de contacto y de la propia calidad del concreto.

Calidad del Concreto

La calidad del concreto endurecido suele definirse y evaluarse en términos de su resistencia mecánica, principalmente a compresión, y su obtención se regula mediante ajuste de su relación agua/cemento, que también actúa como parámetro de la permeabilidad de la pasta de cemento hidratada. De esta manera, a menor relación agua/cemento corresponde mayor resistencia mecánica y mayor impermeabilidad potencial del concreto.

Para fines de protección al acero de refuerzo contra la corrosión electrolítica, lo necesario es que el concreto de recubrimiento posea una baja permeabilidad al agua y al aire, con objeto de restringir su acceso a las varillas desde el exterior, dada la injerencia de estos elementos en el proceso corrosivo. Lo cual justifica que en los códigos se especifiquen muy bajas relaciones agua/cemento para concretos destinados a construir estructuras con riesgo de sufrir corrosión, no obstante que con ello se alcancen muy altas resistencias a compresión, aparentemente innecesarias desde el punto de vista netamente estructural.

Es oportuno señalar que el empleo de una baja relación agua/cemento es una medida necesaria pero no suficiente para lograr una baja permeabilidad del concreto en la estructura, pues debe complementarse con el uso de prácticas constructivas adecuadas y eficaces. En este aspecto, merece particular mención el efecto positivo tan importante que un buen sistema de curado ejerce en la permeabilidad superficial del concreto, como se indica gráficamente en la Fig 3.⁽⁴⁾

Integridad y Espesor del Recubrimiento

Si el concreto de recubrimiento es compacto, homogéneo y posee una reducida permeabilidad por el uso de una baja relación agua/cemento, su grado de oposición a la penetración del agua y el aire externos pasa a depender primordialmente de su integridad y grosor. La condición de integridad se refiere a la ausencia de grietas y otras discontinuidades, en tanto que el grosor neto corresponde al espesor de la costra de concreto que se localiza entre el lomo de las varillas y la superficie expuesta de la estructura.

Agrietamiento superficial -- La información acerca de los efectos que producen las grietas superficiales de la estructura en el proceso corrosivo del acero de refuerzo, no siempre es consistente: en ocasiones se dice que aceleran el proceso, en tanto que en otras no se les concede influencia en este sentido. Una posible explicación de ello es la injerencia que como factor participativo se atribuye a la calidad del concreto, representada por su relación agua/cemento. Así, en la Fig 4⁽⁵⁾ se observa que para concretos con relaciones agua/cemento menores de 0.50, las fisuras en el recubrimiento no tienen efecto apreciable en el proceso de corrosión del refuerzo, mientras que su efecto

detrimental en este aspecto se hace notar e incrementa conforme es mayor la relación agua/cemento que se utiliza.

Dada la reconocida influencia que los agrietamientos ejercen sobre la durabilidad de las estructuras de concreto en todos sentidos⁽⁶⁾, siempre es recomendable evitarlos o por lo menos corregirlos cuando su presencia es inevitable, utilizando tratamientos acordes a su origen.⁽⁷⁾

Espesor del concreto de recubrimiento -- Es obvio que para un determinado concreto, en condiciones dadas, el tiempo requerido por los agentes de corrosión para penetrar hasta las varillas de refuerzo, se incrementa a medida que el espesor de la capa de recubrimiento es mayor. Por tal consideración, es común que en los códigos de diseño de estructuras de concreto se requiera aumentar el espesor del recubrimiento, en las estructuras que deben prestar servicio en condiciones que representan riesgo de corrosión. Sin embargo, esta previsión de diseño suele desvirtuarse en la práctica constructiva debido a la falta de cumplimiento de los espesores nominales especificados en los planos, manifestándose una clara tendencia a que los espesores reales resulten menores que los nominalmente requeridos.

Para ejemplificar lo anterior, procede referirse a una investigación de campo realizada en Australia⁽⁸⁾, en la cual se examinaron las causas de falta de durabilidad por corrosión del refuerzo, en 95 edificios con antigüedad no mayor a 16 años, construidos a distancias de la costa comprendidas entre 150 m y 27 km. Por los resultados obtenidos se determinó que la causa principal de deterioro prematuro por corrosión del acero de refuerzo, fue la insuficiencia en el espesor del recubrimiento de concreto, ya que en 227 sitios afectados el espesor promedio sólo fue de 5.5 mm, con valores comprendidos entre prácticamente cero y 18 mm. Asimismo se observó que estas deficiencias fueron mucho más frecuentes en losas y vigas que en columnas y muros, y que su incidencia fue mucho mayor en edificios pequeños que en grandes construcciones.

En un estudio complementario⁽⁹⁾ se efectuaron mediciones de los espesores reales del recubrimiento de concreto en edificios y puentes, y se compararon con los nominales encontrándose mayores deficiencias en los primeros que en los segundos, según se observa en la Fig 5⁽⁹⁾. Conforme a estos resultados, que en cada caso corresponden a mediciones efectuadas en más de 10,000 sitios de losas y traveses, los espesores reales fueron menores que los nominales el 62 por ciento de las veces en los edificios y el 49 por ciento en los puentes; de lo cual se concluyó que el incumplimiento de los espesores especificados no fue la excepción sino más bien la regla. Este tipo de información ha conducido a recomendar que se incrementen los espesores nominales de diseño, a fin de protegerse contra las deficiencias constructivas.

Alcalinidad del Concreto

El concreto constituye un medio fuertemente alcalino a causa principalmente del hidróxido de calcio que se libera durante la hidratación del cemento, por lo cual suele manifestar desde el principio un pH entre 12 y 13. Esta característica del concreto provee una excelente protección a las varillas de refuerzo contra la corrosión; una teoría para explicarlo postula que el acero en contacto con un medio así produce una variedad de óxido férrico que forma una delgada película en la superficie de las varillas e inhibe el progreso de la corrosión. Mientras el concreto conserva su elevado nivel de alcalinidad original, esta película de protección subsiste y las varillas de refuerzo permanecen en un estado de "pasivación" que las preserva de la corrosión, incluso en presencia de agua y oxígeno. Sin embargo, dicho estado de pasivación puede verse afectado por la acción de dos principales agentes corrosivos: el bióxido de carbono (CO_2) y el ion cloruro (Cl^-), cuyos efectos pueden generarse por reducción de la alcalinidad del concreto y/o por ataque directo a la integridad de la película de protección. De cualquier modo, el deterioro de esta película crea condiciones propicias para el desarrollo de celdas electrolíticas de corrosión a lo largo de las varillas.

Efecto del bióxido de carbono -- El aire atmosférico contiene una reducida proporción de bióxido de carbono (CO_2), que en un ambiente rural es del orden de 0.03 por ciento en volumen, pero puede incrementarse varias veces en las zonas fabriles. El CO_2 contenido en el aire, al entrar en contacto con el concreto, reacciona con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) producido por la hidratación del cemento y forma carbonato de calcio (CaCO_3). Como consecuencia de ello tiende a disminuir la alcalinidad del concreto y su correspondiente capacidad para mantener las varillas de refuerzo en estado de pasivación: se dice que si el pH del concreto desciende a menos de 11.5 es incapaz de preservar dicho estado⁽¹⁰⁾. El fenómeno así descrito, denominado carbonatación del concreto, representa por tanto un proceso natural que contribuye a crear condiciones favorables para la corrosión del acero de refuerzo.

La penetración del CO_2 a través del concreto, que se produce por un fenómeno de difusión, es un proceso cuya velocidad depende de la concentración del gas en el medio de contacto y de la permeabilidad del concreto al aire, dictada ésta por la porosidad del propio concreto. Para el caso de ambientes ordinarios (sin excesiva contaminación con CO_2) y concretos de buena calidad estructural, el avance del proceso de carbonatación es lento y generalmente no alcanza a rebasar el espesor del concreto de recubrimiento sobre las varillas en el curso de la vida útil de las estructuras, si dicho espesor es el especificado.

Sin embargo, lo anterior puede no ser así cuando hay exceso de CO_2 en el medio de contacto, y/o el concreto es de baja calidad (muy permeable), y/o el espesor del recubrimiento es menor del requerido, en cuyos casos el proceso de carbonatación puede llegar rápidamente a la profundidad de las varillas y desproveerlas del

estado de pasivación, dejándolas a merced de otros agentes corrosivos. De donde se reafirma la importancia y utilidad que tienen la calidad y el espesor del concreto de recubrimiento, para dar protección contra la corrosión al acero de refuerzo, en particular cuando el medio de contacto es muy corrosivo, como suele ser el ambiente con exceso de CO_2 que prevalece en algunas zonas industriales.

Efecto de los cloruros -- Los cloruros desempeñan un papel importante como agentes impulsores de la corrosión del acero de refuerzo, pues su acción en este sentido tiene doble efecto: 1) la presencia de estas sales en la solución de poro del concreto en contacto con las varillas incrementa su conductividad como electrólito y facilita (ver Fig 2) el movimiento de iones (OH^-) del cátodo al ánodo, en el cierre del circuito electrolítico, y 2) el acceso del ion cloruro (Cl^-) hasta las varillas deteriora la película de óxido férrico que las protege de la corrosión, y de este modo se originan puntos con diferencias de potencial que forman microceldas electrolíticas de corrosión en la superficie de una misma varilla, e incluso macroceldas entre varillas contiguas.

La presencia de contenidos riesgosos de cloruros en el seno del concreto en contacto con las varillas, puede originarse de dos modos que no son excluyentes entre sí: 1) por inclusión en la mezcla de concreto durante su elaboración, al hallarse contenidos en alguno(s) de los ingredientes, y 2) por penetración a través del concreto de recubrimiento, por hallarse presentes en el medio de contacto externo con la estructura. En el primer modo se trata de cloruros que pueden hallarse en el agua de mezclado, los agregados y algún aditivo que se utilice. En el segundo, los cloruros provienen de medios externos tales como el agua de mar y el ambiente marino, las sales descongelantes, las aguas superficiales de carácter salobre, y algunos suelos y aguas freáticas.

Para reducir el riesgo de corrosión por efecto de los cloruros incluidos en la mezcla al elaborar el concreto, es necesario limitar su contenido en los ingredientes de manera que el contenido total de cloruros en el concreto no exceda ciertos "umbrales de riesgo" establecidos en función del grado de corrosividad del medio en que presta servicio la estructura. Por ejemplo, el Código ACI 318⁽¹⁾ recomienda las siguientes limitaciones en el contenido máximo de cloruros solubles en agua, para diferentes condiciones de exposición de las estructuras:

Condiciones de exposición	Contenido máximo de ion cloruro (Cl ⁻) del concreto al entrar en servicio (*)
a) Concreto presforzado: - En todas condiciones	0.06
b) Concreto reforzado convencional	
- Expuesto a penetración de cloruros	0.15
- Exposición húmeda, sin cloruros	0.30
- Continuamente seco	1.00

(*) Cloruros solubles en agua, expresados como porcentaje en peso del contenido de cemento

Sin embargo, hay opiniones⁽¹²⁾ en el sentido de que estas limitaciones en los cloruros internos pueden ser insuficientes para prevenir la corrosión, en condiciones de exposición húmeda en que no hay seguridad de la ausencia de cloruros en el medio externo, a lo largo de toda la vida de servicio de la estructura. Para prevenir esta contingencia, resulta más seguro limitar a 0.15 por ciento el contenido máximo de cloruros internos solubles en agua, para toda estructura que deba prestar servicio en condición húmeda.

La posibilidad de que los cloruros en el medio externo penetren a través del concreto de recubrimiento y alcancen la profundidad de las varillas de refuerzo, depende del grado de concentración de los cloruros en dicho medio, de la capacidad del concreto para oponerse a su penetración, y del espesor del mencionado recubrimiento.

Los medios de contacto con las estructuras, que tradicionalmente se reconocen como corrosivos por su elevado contenido de cloruros, son: 1) el agua de mar y la brisa marina, 2) las salmueras que resultan del uso de sales descongelantes y de ciertos procesos industriales, 3) las aguas salobres de algunos lagos, lagunas y albuferas, y de zonas pantanosas cercanas al mar o con aguas geotermales, y 4) las aguas freáticas y suelos, en sitios donde por diversas causas existe concentración de estas sales. Por tanto, al construir una estructura de concreto que deba tener contacto con alguno de estos medios, debe darse por seguro que existe un alto riesgo de penetración de cloruros externos y que deben adoptarse suficientes medidas de protección para evitarlo.

Como en el caso de la penetración del agua y el aire, la capacidad del concreto para oponerse a la penetración del ion cloruro (Cl⁻) también depende de su porosidad, por lo cual, el uso de una baja relación agua/cemento y el empleo de un eficiente procedimiento de curado son medidas indispensables y de utilidad real para cualquier caso en que exista riesgo de corrosión.⁽¹³⁾ No

obstante, hay condiciones de muy alto riesgo en que estas medidas pueden resultar insuficientes y se justifica la adopción de ciertas medidas adicionales, tales como el empleo de algunos aditivos y/o impregnaciones, con objeto de incrementar la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro.

Para evaluar esta resistencia existen pruebas de larga duración, pero también se han desarrollado métodos rápidos^(14, 15) en los que se mide la cantidad de electricidad (en coulombs) que se transmite a través de un espécimen de concreto expuesto en sus caras opuestas a soluciones de cloruro de sodio e hidróxido de sodio, al aplicarle un potencial de 60 voltios durante 6 horas. Aunque se recomienda juzgar con precaución los resultados de la prueba, a partir de éstos se han establecido cinco grados de permeabilidad a los cloruros, como se indican a continuación⁽¹⁶⁾:

Carga eléctrica (coulombs)	Penetración de cloruros	Caso típico identificable
>4000	Alta	Concreto convencional de cemento portland, con alta relación agua/cemento (>0.6)
2000-4000	Moderada	Concreto convencional de cemento portland, con mediana y baja relación agua/cemento (0.6 - 0.4)
1000 - 2000	Baja	Concreto convencional de cemento portland, con muy baja relación agua/cemento (<0.4)
100 - 1000	Muy baja	Concreto modificado o sellado con látex
<100	Despreciable	Concreto polimérico y concreto impregnado con polímeros

Según se mencionó con anterioridad, para un mismo concreto en condiciones dadas, el espesor del recubrimiento determina el tiempo que los agentes corrosivos externos requieren para llegar a la profundidad de las varillas de refuerzo, y esto también resulta aplicable para efectos de la penetración del ion cloruro. Consecuentemente con ello, es normal que para las estructuras expuestas al contacto con cloruros, los códigos de diseño recomienden el uso de generosos espesores, que pueden ser tan gruesos como 100 mm en elementos de concreto expuestos a contacto con agua de mar con periodos alternados de saturación y secado, como ocurre en las zonas de fluctuación de las mareas, de contacto

con el oleaje, o que reciben salpicaduras.⁽¹⁷⁾

MEDIDAS DE PROTECCION

En la Fig 6 se indica la forma como evoluciona de ordinario la corrosión del acero de refuerzo, en cuyo proceso se distinguen dos fases: 1) la inicial (t_1) que corresponde a la etapa de pasivación, durante la cual las varillas permanecen sin evidencia de corrosión, aunque pueda existir un estado de corrosión potencial por la presencia de agentes corrosivos, y 2) la final (t_2) que se define como etapa de corrosión porque en el curso de ésta el acero se corroe con relativa rapidez hasta alcanzar un grado de deterioro detrimental.

Para el propósito de evitar el deterioro anticipado de la estructura por efecto de la corrosión del acero de refuerzo, lo conveniente sería que la duración de la primera etapa (t_1) fuera lo suficientemente prolongada para igualar la "vida de servicio" de la estructura en cuestión; esto es, habría que considerarle duraciones del orden propuesto como "vida de diseño" en los siguientes casos⁽¹⁸⁾:

Estructuras	Vida de servicio esperada (años)
Pistas de aeropuertos	30 - 50
Puentes	120
Presas	50 - 100
Edificios residenciales	60
Obras portuarias	80
Fábricas	25 - 50
Oficinas, tiendas	50 - 100

Sin embargo, la experiencia ha demostrado en numerosas ocasiones que el deterioro por corrosión ocurre con gran anticipación al término de la vida de diseño, e incluso puede repetirse varias veces antes de su vencimiento, particularmente en los casos de puentes y de obras portuarias; lo cual obliga a la necesidad de efectuar un mantenimiento correctivo mucho más enérgico y frecuente en este tipo de estructuras. Dadas las repercusiones que esta situación produce en lo técnico y económico, e incluso en lo político y social, se justifica ampliamente considerar la adopción de medidas de protección que permitan ampliar la duración de la etapa de pasivación (t_1). Para la evaluación y selección de estas medidas, procede distinguir las que

son utilizables en estructuras por construir y las que son aplicables a estructuras ya construidas.

Para las estructuras de concreto que se planea construir, es posible considerar la utilización de tres tipos de medidas de protección contra la corrosión del acero de refuerzo:

1. Protección natural del concreto de recubrimiento, que se obtiene por el empleo de una composición y un espesor adecuados, y por la ejecución de prácticas constructivas eficaces.
2. Protección mejorada del concreto que, en adición a las medidas anteriores, se logra mediante el uso de aditivos inhibidores de corrosión y/o reductores de permeabilidad, incorporados a las mezclas de concreto durante su elaboración.
3. Protección directa al acero de refuerzo, ya sea por la aplicación de un revestimiento anticorrosivo a las varillas, o por efecto de la habilitación del acero de refuerzo como cátodo (protección catódica).

En el caso de estructuras ya construidas que requieren ser protegidas contra la corrosión, también es aplicable la protección catódica, y además se dispone de una cuarta forma de protección:

4. Protección externa al concreto de la estructura, por medio de tratamientos superficiales capaces de inhibir la penetración de los agentes corrosivos y/o de evitar el contacto directo de estos agentes con el concreto.

Protección Natural del Concreto

La protección que en forma natural proporciona el concreto al acero de refuerzo, constituye una acción básica que en todos los casos debe procurarse y cuya ejecución no se contrapone con ninguna de las otras medidas que se contemplan. Aquí cabe considerar como medidas de protección natural ciertos aspectos inherentes a la composición del concreto, tales como la relación agua/cemento y el contenido original de cloruros; la magnitud del espesor de recubrimiento de concreto que se especifica y su cumplimiento durante la construcción; y la procuración de un correcto curado al concreto en la estructura.

Relación agua/cemento -- La conveniencia de utilizar una menor relación agua/cemento en el concreto conforme aumenta el riesgo de corrosión se justificó con anterioridad. Así, por ejemplo, en el informe ACI 201.2R⁽¹⁷⁾ se recomienda:

Condiciones de exposición del concreto	A/C máxima
Contacto directo con agua, o con salpicaduras, de alto contenido de cloruros (mar, salmueras, etc.)	0.40
Contacto directo con agua, o con salpicaduras, de alto contenido de cloruros (Optativo, mediante incremento de por lo menos 13 mm en el recubrimiento de concreto)	0.45
Hasta 8 m por arriba y 30 m horizontales, del alcance máximo de las salpicaduras del agua de mar	0.50

Contenido de cloruros de origen -- El contenido máximo de cloruros internos que puede tolerarse en la mezcla de concreto, no sólo está en razón inversa del contenido de cloruros en el medio externo, sino también de la sensibilidad de la estructura a los efectos de la corrosión. Al tratar previamente sobre el efecto de los cloruros, se citaron los límites recomendados en el Código ACI 318 para los contenidos máximos de cloruros solubles en agua que pueden tolerarse en el concreto presforzado y el reforzado convencional, en diferentes condiciones del medio externo de exposición y servicio. Asimismo se comentó que estos límites podrían ser insuficientemente seguros para prevenir la corrosión, en casos de subestimación o falta de conocimiento confiable del grado de corrosividad del medio externo, por lo cual la adecuada definición de éste representa una acción preliminar indispensable en la construcción de estructuras de concreto con riesgo potencial de corrosión.

Espesor del recubrimiento de concreto -- Son numerosas las evidencias de estructuras que han sufrido corrosión del acero de refuerzo por no haberse especificado un generoso espesor del recubrimiento de concreto, al suponer que las condiciones de exposición no lo ameritaban. En tal situación podrían hallarse las estructuras de concreto construidas en zonas costeras, al no tomar en cuenta que el aire marino suele poseer un significativo contenido de cloruros, que en ocasiones puede ser del orden de 0.20 mg de NaCl por cm² de superficie expuesta.⁽¹⁹⁾ Con base en los efectos corrosivos demostrados por el ambiente costero, particularmente en clima tropical, se han generado propuestas⁽²⁰⁾ para incrementar los espesores del recubrimiento de concreto en estas estructuras, comparativamente con los acostumbrados en ambientes ordinarios. A modo de ejemplo, a continuación se indican los espesores del recubrimiento recomendados para algunas condiciones de exposición:

Condiciones de exposición
de la estructura

Espesores nominales del recubri-
miento en mm, según la relación
agua/cemento

	A/C=0.60	A/C=0.50	A/C=0.45	A/C=0.40
Según Ref ⁽²⁰⁾ : - Ambiente exterior tropical, no industrial, entre 1 y 50 km de la orilla del mar	50	40		30
- Ambiente exterior tropical costero, a menos de 1 km de la orilla del mar		60		50
Según ACI 201 ⁽¹⁷⁾ : - Contacto con agua, o con salpicaduras, de alto contenido de cloruros (mar, salmueras, etc.)			90	75

Es conveniente que al especificar el recubrimiento se incrementen los espesores nominales en aproximadamente 10 mm, para absorber las deficiencias constructivas que son frecuentes en este aspecto, según se mencionó con anterioridad.

Curado del concreto -- La influencia del curado se hace sentir en todos los aspectos que definen la calidad y la durabilidad del concreto en general. Esto último puede atribuirse al efecto que el curado produce en la permeabilidad del concreto superficial (ver Fig 3) y su consecuente resistencia a ser penetrado por agentes agresivos de toda índole. De ahí la importancia de adoptar en obra la costumbre de curar adecuadamente el concreto, como medida de protección contra su deterioro prematuro.

Aditivos inhibidores de corrosión -- En el grupo de los aditivos que inhiben la corrosión cabe distinguir dos clases: los inorgánicos y los orgánicos. Los primeros corresponden a sales inorgánicas que se han utilizado desde hace mucho tiempo contra la corrosión en general, pero cuyo uso en el concreto con esta función data de aproximadamente 25 años; en tanto que los segundos son compuestos orgánicos que han tenido un desarrollo más reciente en este campo.

Se menciona⁽²¹⁾ que hay tres tipos de aditivos inorgánicos inhibidores de la corrosión, que son los anódicos, catódicos y mixtos, designados así por el lugar de la celda de corrosión donde ejercen su acción inhibidora. La acción de los anódicos se basa en que "compiten" con los iones de cloro (Cl⁻) para reaccionar con los

iones férricos (Fe^{++}) que se liberan en el ánodo, bloqueando el efecto dañino de aquéllos. Los catódicos son sustancias, generalmente alcalinas, que "absorben" electrones por lo cual tienden a desempeñar la función del cátodo, inhibiendo la formación de las celdas de corrosión. Los aditivos mixtos son combinaciones de ambos tipos de sustancias, por lo que su forma de actuar resultará un tanto ambigua.

Entre los aditivos inorgánicos, el más conocido y utilizado es el nitrito de calcio, cuya eficacia como inhibidor de la corrosión del acero de refuerzo se ha constatado mediante numerosas pruebas y aplicaciones.⁽¹⁶⁾ Sin embargo, una crítica que suele hacerse a este aditivo, es que su dosificación en el concreto requiere definirse de acuerdo con el contenido de cloruros en el medio externo, de modo que si éste no se conoce con cierta exactitud, la proporción de aditivo que se utilice en el concreto puede resultar insuficiente para prevenir eficazmente la corrosión.

En época más reciente⁽²²⁾ se ha desarrollado como aditivo inhibidor de la corrosión del refuerzo en el concreto, un compuesto de naturaleza orgánica que se define como "un aditivo base-agua, consistente en aminas y esterés". Aunque se le atribuyen efectos muy satisfactorios en pruebas de laboratorio (mejores a los obtenidos con el nitrito de calcio) todavía no se tiene conocimiento de resultados en aplicaciones prácticas que lo confirmen, si bien la información conocida hace pensar en un futuro prometedor para esta clase de aditivo.

Aditivos reductores de permeabilidad -- En el grupo de aditivos que mejoran la protección al acero de refuerzo mediante reducción de la permeabilidad del concreto, pueden considerarse principalmente ciertos materiales con propiedades puzolánicas y el látex. Entre los materiales puzolánicos, tal vez los más estudiados en este aspecto son la ceniza volante ("fly ash") y la microsílíce ("silica fume"). En cuanto al látex, se trata de emulsiones acuosas de polímeros derivados principalmente del hule sintético, cuyo uso como aditivos de morteros y concretos de cemento portland se ha extendido en años recientes.

La ceniza volante es el subproducto que resulta de la combustión del carbón mineral, en procesos industriales que lo utilizan como combustible. Esta ceniza, que se compone principalmente de esferas de sílice vítrea con la finura del cemento, se utilizan extensamente en diversos países como aditivo para concreto, por sus propiedades puzolánicas. Uno de los efectos que se atribuye a esta ceniza, es que al reducir la permeabilidad del concreto mejora su protección al refuerzo contra la corrosión, porque restringe la penetración de los agentes corrosivos (agua, oxígeno, CO_2 , cloruros). Sin embargo, al evaluar este efecto, es necesario tomar en cuenta dos acciones contrapuestas: por una parte, la reacción puzolánica con el hidróxido de calcio reduce la alcalinidad del concreto y su aptitud como medio de pasivación del refuerzo, y por la otra existe el beneficio ya mencionado de la reducción en la permeabilidad. Si bien el balance parece ser a

favor del segundo efecto⁽²³⁾, la cuantía del beneficio es muy variable por la diversidad de características y propiedades que suelen mostrar las cenizas volantes.

La microsílíce es el subproducto que se obtiene de la producción de silicio metálico y aleaciones ferrosilícicas en hornos eléctricos de arco. Se compone de microesferas de sílice vítrea casi pura, con tamaño 75 veces menor que las partículas de cemento, aproximadamente. Debido a su excelente actividad puzolánica y su elevadísima finura, al ser incorporada como aditivo reduce sustancialmente la porosidad de la pasta de cemento hidratada y con ello disminuye notablemente la permeabilidad del concreto endurecido. Como resultado, el uso de la microsílíce está reconocido actualmente como uno de los medios más eficaces para mejorar la durabilidad del concreto, y en particular para incrementar la protección que éste proporciona al acero de refuerzo contra la corrosión.^(16,24)

Las emulsiones de látex son dispersiones en agua de pequeñísimas partículas de polímeros de hule, principalmente sintético, con dimensiones que normalmente oscilan entre 0.05 y 5 micras, y cuyo contenido de sólidos varía de ordinario entre 40 y 50 por ciento en peso.⁽²⁵⁾ La inclusión de estas emulsiones en la pasta de cemento modifica la estructura del gel, al formar una película continua de polímero que envuelve los productos de hidratación y mejora en varios aspectos el comportamiento de la pasta hidratada y del mortero o concreto que la contiene. Entre los aspectos beneficiados se mencionan la resistencia a tensión, la tenacidad, la adhesividad y la resistencia a la penetración de la humedad. Este último beneficio conduce a que los morteros y concretos modificados con látex provean una mejor protección al acero de refuerzo contra la corrosión, aunque tal vez no tan mejorada como la que resulta del uso de los aditivos inhibidores de corrosión y la microsílíce.⁽²²⁾

Protección Directa al Acero de Refuerzo

Una opción válida para proteger contra la corrosión al acero de refuerzo en las estructuras por construir, consiste en ejercer la protección directamente en las varillas. Para tal propósito hay dos métodos conceptualmente distintos, según se trate de recubrir las varillas con un revestimiento anticorrosivo o de utilizar un sistema de protección catódica, si bien este último también es utilizado para la protección de estructuras ya construidas.

Revestimientos anticorrosivos -- Los revestimientos anticorrosivos que suelen aplicarse al acero de refuerzo pueden ser metálicos o no metálicos. Entre los metálicos, el más usual es el de zinc que se aplica a la varillas de acero por el procedimiento electrolítico de galvanizado o galvanoplastia. De los revestimientos no metálicos, el que más se emplea para recubrir las varillas de refuerzo es a base de resinas epoxy, las cuales se aplican por fusión electrostática con el fin de obtener superficies

que no resulten demasiado lisas y permitan lograr una adecuada adherencia con el concreto. Ambos tipos de revestimiento se realizan mediante tratamientos industriales que deben ser aplicados en plantas especializadas; de modo que las varillas ya tratadas en planta requieren ser transportadas a la obra para su habilitación (corte y doblado) y colocación en la estructura por construir. Debido a ello, es frecuente que el revestimiento sufra algún deterioro durante dichas operaciones.

Se dice⁽²⁶⁾ que los dos tipos de revestimiento proporcionan una buena protección a las varillas contra la corrosión, siempre y cuando no resientan daño previo en su integridad. De no ser así, los sitios de deterioro del revestimiento constituyen puntos especialmente propicios para el comienzo de la corrosión, por lo que deben ser cuidadosamente restaurados en obra antes de la colocación del concreto, con el empleo de materiales, técnicas y personal idóneos, conforme a las recomendaciones que al respecto haga el proveedor del revestimiento. Asimismo, para prevenir la formación de macroceldas de corrosión por diferencias de potencial entre varillas tratadas y no tratadas, es recomendable aplicar el revestimiento anticorrosivo a todo el acero de refuerzo de una misma estructura, no obstante que existan partes de la misma en donde aparentemente no se requiera.

Protección catódica -- La protección catódica del acero de refuerzo consiste en formar ex profeso celdas electrolíticas en la estructura, en donde las varillas de refuerzo desempeñen la función del cátodo, que como se sabe es el electrodo que no se corroe. Para ello, es necesario instalar en la estructura electrodos "postizos" que funcionen como ánodo. En estructuras por construir, estos ánodos suelen dejarse colocados en elementos o partes de la estructura previamente seleccionados, en tanto que en estructuras ya construidas deben colocarse en lugares de la estructura cuya accesibilidad lo permita.

Existen dos sistemas básicos de protección catódica. En uno de ellos, que corresponde al procedimiento original, el flujo de electrones entre el ánodo y el cátodo se establece por la diferencia de potencial entre ambos electrodos, como ocurre en la celda galvánica, de modo que el ánodo (denominado galvánico o de sacrificio) se corroe con relativa rapidez y requiere su reposición periódicamente. En el otro sistema, conocido como de corriente aplicada, se hace circular una corriente directa entre los electrodos, conectándolos a una fuente que suministre esta forma de corriente eléctrica. En este sistema el ánodo suele estar constituido por materiales de gran duración como el fierro colado con alto contenido de silicio y el grafito, e incluso por metales que no se corroen como el titanio y el platino.

Aunque la protección catódica ha demostrado ser un procedimiento muy eficaz para inhibir la corrosión del acero de refuerzo, con particular utilidad para detener el avance de la corrosión en las estructuras ya construidas, es necesario tomar en cuenta que su proyecto e instalación, e incluso mantenimiento,

deben hacerse en función de las condiciones específicas de cada estructura en particular, con el concurso de profesionales y empresas especializados en la materia, que con frecuencia aplican métodos patentados.

Protección Externa al Concreto en la Estructura

Para estructuras ya construidas, un procedimiento viable para proteger de la corrosión al acero de refuerzo consiste en aplicar externamente a la estructura un material o una sustancia que forme una barrera y evite el contacto entre el concreto y los agentes corrosivos en el medio externo (agua y sales disueltas, oxígeno, bióxido de carbono) o bien que inhiba la penetración de estos agentes a través del concreto que recubre y protege las varillas. Para poner en práctica este procedimiento, es factible considerar el empleo de cuatro diferentes clases de materiales o sustancias de aplicación externa: 1) morteros y concretos con diversos aglutinantes, 2) telas y láminas preformadas de materiales plásticos y elásticos, 3) compuestos líquidos que al secar forman una película elastomérica superficial, y 4) sustancias líquidas que actúan por impregnación superficial del concreto.

Morteros y concretos -- La aplicación de una capa de mortero o de concreto sobrepuesta a la estructura en la superficie expuesta a los agentes corrosivos, representa por sí misma la utilidad que corresponde a un incremento del espesor del recubrimiento de concreto sobre las varillas. Si además esa capa de mortero o de concreto posee una resistencia mejorada a la penetración de dichos agentes, su aplicación resulta doblemente útil, siempre y cuando se logre una adecuada adhesión al concreto original de la estructura.

Los morteros y concretos para esta aplicación se elaboran normalmente con agregados ordinarios, pero con diferentes aglutinantes. Los de uso más frecuente son: 1) de cemento portland, convencionales, pero con relaciones agua/cemento suficientemente bajas; 2) de cemento portland, modificados con la incorporación de una emulsión de látex; 3) de cemento portland, modificados con la incorporación de un polímero constituido por una resina y un endurecedor; 4) de aglutinantes diferentes al cemento portland, tales como resinas epoxy, poliéster y poliuretano.

De estos morteros y concretos, posiblemente los más utilizados para esta finalidad son los de cemento portland modificados con la adición de látex, debido a que reúnen dos propiedades de efectos esenciales en esta aplicación: su resistencia incrementada a la penetración de los agentes corrosivos, y su compatibilidad y buena adhesividad con el concreto de uso normal en las estructuras.

Telas y láminas preformadas -- Las telas plásticas y las láminas elásticas preformadas, adheridas superficialmente al concreto, se utilizan normalmente como barreras en los sistemas de protección a las estructuras contra la humedad.⁽²⁷⁾ Por consiguiente, debido a que la presencia de agua es indispensable para la

corrosión y que algunos agentes corrosivos (como los cloruros) penetran al concreto disueltos en agua, la utilidad de estas barreras se hace extensiva como medios de defensa contra la corrosión.

Las telas plásticas suelen ser de polietileno, cloruro de polivinilo o fibra de vidrio, y las láminas elásticas, o elastoméricas, se producen normalmente a base de neopreno, hule butilo, cloruro de polivinilo plastificado y otros productos a base de hule sintético. Un aspecto importante en la aplicación de estas telas y láminas, consiste en lograr hermeticidad en las juntas mediante una buena unión. Para ello existen diferentes adhesivos y solventes de acuerdo con la naturaleza del material, y para cuya selección y uso deben atenderse las recomendaciones del fabricante.

Líquidos que forman película -- Los compuestos líquidos que al secar forman una película elastomérica, suelen aplicarse en las superficies expuestas de las estructuras con el mismo fin de las telas plásticas y las láminas elásticas, esto es, para actuar como barreras contra la penetración de la humedad.⁽²⁷⁾ Por lo tanto, su utilidad también resulta extensiva para prevenir la corrosión del acero de refuerzo.

Estos compuestos son productos que pueden ser de un solo componente, o bien de dos o más componentes que deben premezclarse y homogeneizarse antes de su empleo, siguiendo las instrucciones de cada fabricante. Los de uso más frecuente son a base de neopreno y combinaciones de neopreno con materiales bituminosos, poliuretano y combinaciones de poliuretano con materiales bituminosos y resinas epoxy plastificadas, generalmente con materiales bituminosos tales como el alquitrán de hulla. De acuerdo con su consistencia, la aplicación de estos compuestos suele hacerse con espátula, cepillo, rodillo, brocha o equipo de aspersion a presión.

Líquidos que actúan por penetración -- Para mejorar la oposición del concreto a la penetración del agua, y en especial de los cloruros, hay procedimientos en que el efecto se produce por la impregnación de la superficie de la estructura con ciertas substancias que penetran en los poros del concreto para obturarlos; debido a ello, a estas substancias que frecuentemente son líquidos de baja viscosidad, se les identifica como selladores de superficie.

Un procedimiento de esta índole corresponde al concreto que se polimeriza in situ, impregnándolo previamente con un monómero de baja viscosidad, para cuya polimerización existen diversos medios; de esta manera, al constituirse el polímero se produce la obturación de los poros superficiales del concreto impregnado, y éste adquiere gran resistencia e impermeabilidad.⁽¹²⁾ Sin embargo, este procedimiento no resulta de fácil ejecución en condiciones de obra, por lo cual su empleo suele limitarse al tratamiento de elementos prefabricados y partes de estructuras especiales.

Otro tratamiento por impregnación del concreto que resulta de más fácil aplicación, se lleva a cabo con productos a base de silanos (compuestos hidrogenados del silicio) que han demostrado ser eficaces para generar en la superficie del concreto tratado, una gran oposición a la penetración del ion cloruro;⁽²⁸⁾ si bien hay cierta controversia en cuanto a que pueden reducir la resistencia del concreto a los efectos de la congelación y el deshielo.

Por último, hay tratamientos de sellado por impregnación a base de silicatos líquidos, que al penetrar en el concreto reaccionan con el hidróxido de calcio y forman compuestos del mismo tipo de los silicatos hidratados de calcio que constituyen el gel de cemento. Estos compuestos obturan los poros superficiales del concreto y por ser insolubles lo hacen más resistente a la penetración del agua y de las sales corrosivas que pueda llevar consigo.

INDAGACION DEL ESTADO DE CORROSION

Conforme se indicó previamente (ver Fig 6) en el proceso de corrosión de las varillas de acero de refuerzo se distinguen dos etapas: la de pasivación (t_1) en que no se manifiestan signos de corrosión, aunque ésta pueda estar latente por la presencia de agentes corrosivos, y la etapa de corrosión que se manifiesta por la conversión progresiva del acero a productos de corrosión (herrumbre) y que puede llegar a la inhabilitación de las varillas en un lapso (t_2) relativamente corto.

Como también se ha dicho, los productos de corrosión representan un volumen varias veces mayor que el de sus componentes originales, por lo cual su formación y acumulación en la superficie de las varillas genera tensiones en el concreto confinante, que tienden a agrietarlo e incluso desprender el recubrimiento. De esta manera, durante la primera etapa (t_1) en que no se produce herrumbre, el concreto permanece indemne; pero una vez iniciada la segunda etapa, la expansión que acompaña la formación de herrumbre genera esfuerzos de tensión en el concreto que comienzan por fisurarlo internamente, creando así una especie de laminación en el recubrimiento.

A medida que avanza la segunda etapa, la expansión progresiva derivada de la formación de herrumbre incrementa las tensiones en el concreto, con lo cual se producen las primeras grietas visibles en la superficie de la estructura, cuyas trayectorias siguen normalmente la dirección de las varillas en curso de corrosión. Con la formación de estas grietas se facilita el acceso de los agentes corrosivos externos y se acelera el proceso corrosivo de las varillas, hasta su posible destrucción total.

Es obvio que mientras más pronto se descubra la existencia de corrosión en las varillas de refuerzo, más fácil y económica resultará su reparación. Por tal consideración, lo deseable es descubrirla en el punto de arranque de la segunda etapa, cuando el

~~recubrimiento de concreto comienza a laminarse pero todavía no~~ aparecen agrietamientos visibles en la superficie de la estructura. Esto solamente es posible mediante la ejecución de un programa sistemático de mantenimiento preventivo en las estructuras, con inspecciones y revisiones de rutina, complementadas con la ejecución de verificaciones como las enumeradas a continuación,⁽²⁹⁾ en los casos en que así se requiera.

Examen Visual

El examen visual es parte fundamental de las inspecciones de rutina en los programas de mantenimiento de las estructuras de concreto⁽⁷⁾, cuyo objetivo es descubrir oportunamente condiciones inusuales y cambios repentinos observables. En este caso, sin embargo, su utilidad es un tanto reducida como medio para hacer un descubrimiento temprano de la corrosión del acero de refuerzo, pues cuando ésta manifiesta síntomas visibles es porque se halla en un momento avanzado de la segunda etapa (t_2). No obstante, siempre resulta preferible descubrir la corrosión cuando aparecen las primeras fisuras o manchas de óxido superficiales, que hacerlo después cuando las varillas se hallan prácticamente destruidas.

Prueba de Percusión

Mediante ligeros golpes en la superficie de la estructura, dados con un instrumento apropiado, es posible identificar sitios o zonas con diferente sonido de respuesta. Así, en los lugares donde se amortigua el sonido, cabe suponer menos compacidad en el recubrimiento de concreto que puede deberse al efecto de laminación producido por una corrosión incipiente; lo cual puede comprobarse haciendo una ranura en el recubrimiento de concreto hasta la profundidad de las varillas. Para poner en práctica este procedimiento, es conveniente marcar previamente la posición de las varillas sobre la superficie de la estructura, y golpear consecutivamente esta superficie a lo largo de las varillas con un martillo ligero o con el martillo de rebote conocido comúnmente como esclerómetro.

Alcalinidad del Concreto

Suele admitirse que mientras el concreto conserve un pH superior a 11.5, aproximadamente, debe ser capaz de preservar el estado de pasivación en el acero de refuerzo; de no ser así y el pH es menor, puede suponerse que la carbonatación del concreto por efecto del CO_2 ha creado condiciones propicias para la corrosión de las varillas. Dado que el proceso de carbonatación avanza desde la superficie expuesta hacia el interior del concreto, cabe esperar que el pH sea menor en la superficie y se incremente progresivamente hacia el interior, de modo que a una cierta profundidad a la que el CO_2 no haya penetrado, el concreto debe conservar suficiente alcalinidad para proteger el acero de refuerzo.

Para determinar la variación del pH del concreto con su profundidad, pueden efectuarse perforaciones en seco (mediante equipo apropiado tal como el martillo rotatorio) con diámetros reducidos (entre 10 y 20 mm) de modo que a diferentes profundidades se realice la evaluación del pH, que de manera rápida puede hacerse con una solución de fenoftaleína al 5 por ciento.

Contenido de Cloruros

La existencia de cloruros en el concreto puede provenir de sus componentes al ser elaborado o de su ingreso posterior procedentes del medio externo. De cualquier modo, la presencia de cloruros en exceso de ciertos límites, en el concreto que circunda las varillas, constituye una condición de alto riesgo para que se produzca corrosión. Por tanto, la determinación del contenido de cloruros del concreto a diferentes profundidades, es un procedimiento útil para evaluar el grado de corrosividad del medio en que se encuentran las varillas.

Para esta finalidad, es posible utilizar el concreto desintegrado en seco que se obtiene al efectuar las perforaciones para determinar la alcalinidad según el inciso precedente. La determinación del contenido de cloruros puede hacerse por solubilidad en agua o en ácido nítrico. Aunque los cloruros que preocupan son los solubles en agua, los solubles en ácido son más fácil y rápidamente obtenibles; de modo que una práctica frecuente consiste en hacer la determinación en ácido y solamente si éstos exceden los límites permitidos se lleva a cabo la determinación en agua. Una estimación rápida de éstos puede hacerse considerando que los cloruros solubles en agua corresponden aproximadamente al 75 por ciento de los solubles en ácido.

Para definir si el contenido de cloruros es tolerable, pueden emplearse los valores propuestos como límites máximos permisibles por el Comité ACI 222⁽¹²⁾, que son aplicables a la determinación de los cloruros solubles en ácido:

Clase de concreto Contenido máximo de cloruros

	% del cemento, en peso	% del concreto, en peso (*)
Concreto presforzado	0.08	0.01
Concreto reforzado convencional	0.20	0.03

(*) Considerando un consumo de cemento de 350 kg/m^3 y un peso unitario del concreto endurecido igual a 2350 kg/m^3

Espesor del Recubrimiento de Concreto

Con los resultados de las determinaciones anteriores, en cuanto a las profundidades máximas hasta donde ha llegado la penetración perjudicial del CO_2 y los cloruros, es posible establecer el grueso de la capa superficial de concreto que ya no brinda adecuada protección a las varillas contra la corrosión. De tal manera que, si el grosor de la capa afectada es menor que el espesor del recubrimiento de concreto sobre las varillas, cabe suponer que aún existe concreto inalterado capaz de brindarles protección. De lo contrario, debe considerarse que los agentes corrosivos han penetrado hasta la profundidad de las varillas y que éstas pueden haber entrado a la fase de corrosión.

Considerando, según se ha dicho antes, que los espesores reales del recubrimiento de concreto tienden en la práctica a ser menores que los nominalmente especificados, lo conveniente es verificar experimentalmente dichos espesores en la estructura. Para este objeto, existen dispositivos electromagnéticos localizadores del refuerzo ("pachómetros") que permiten valuar el espesor del recubrimiento con rapidez y sin dañar el concreto pero cuyos resultados no siempre son consistentes y confiables. Por ello, es recomendable complementar su empleo con mediciones directas del espesor, mediante la ejecución de ranuras superficiales como las previstas en las pruebas de percusión, que también permiten comprobar visualmente el estado de las varillas.

Medición del Potencial Eléctrico

Esta prueba consiste esencialmente en medir el potencial eléctrico que existe entre las varillas de refuerzo y el concreto que las recubre, como una forma de evaluar el grado de actividad corrosiva que prevalece. De este modo, si las varillas se encuentran en la fase de pasivación (t_1) el movimiento de electrones (e^-) debe ser prácticamente nulo o con una magnitud muy reducida, incrementándose conforme el proceso corrosivo se adentre en la fase de corrosión (t_2); y este flujo de electrones tiene relación directa con el potencial eléctrico que existe en el circuito electrolítico de corrosión.

Para medir este potencial, se establece un circuito que comprende las varillas de refuerzo, el recubrimiento de concreto (mejor dicho, la solución de poro que actúa como electrólito) y una media celda de cobre - sulfato de cobre, con un voltímetro de medición en serie. El procedimiento de ejecución se halla reglamentado en el método estándar de prueba ASTM C 876⁽³⁰⁾; y el criterio propuesto para interpretar sus resultados es como sigue:

Lectura en la media celda (volts)	Interpretación
Más positiva que -0.20	Hay una probabilidad mayor de 90% de que no exista corrosión en el acero de refuerzo en la zona de prueba, en el momento de medición.
Entre -0.20 y -0.35	Existe incertidumbre sobre la actividad corrosiva en la zona, en ese momento.
Más negativa que -0.35	Hay una probabilidad mayor de 90% de que sí exista corrosión en el acero de refuerzo en la zona de prueba, en el momento de medición.

Las principales ventajas que se atribuyen a este procedimiento son su relativa facilidad de ejecución y la gran extensión superficial de concreto que puede examinarse en corto tiempo (se dice que hasta 90 m²/hora); ventajas que lo hacen muy útil para indagar el estado de corrosión del refuerzo en estructuras con gran superficie expuesta, como las losas y pavimentos de concreto reforzado. Sin embargo, debido a que esta prueba no siempre produce información precisa, suele recomendarse emplear sus resultados con carácter comparativo, a fin de establecer zonas de una misma estructura con diferente probabilidad de corrosión en el refuerzo; de modo que en las zonas de alta probabilidad, o de incertidumbre, se realice una evaluación complementaria con los otros procedimientos descritos anteriormente.

REPARACION DE DAÑOS POR CORROSION

Criterios Generales

Antes de llevar a cabo un trabajo de reparación de daños a una estructura de concreto por la corrosión del acero de refuerzo, es conveniente tratar de definir las causas y condiciones que propiciaron la corrosión; pues de ello depende en buena medida la extensión que debe darse a la reparación, el procedimiento para su ejecución y el material de restauración.

En términos generales, pueden considerarse tres causas comunes de corrosión precoz: 1) por insuficiencia en el espesor del recubrimiento de concreto, 2) por elevada corrosividad del medio de contacto externo, y 3) por deficiente calidad, en general, del concreto originalmente utilizado. Con frecuencia estas causas no se excluyen sino que más bien se complementan.

Cuando la causa fundamental del daño es falta de espesor en el

recubrimiento del concreto, debe comprobarse el grado de corrosividad del medio externo, a fin de prevenir en la reparación un nuevo espesor acorde con las características de dicho medio. Asimismo, debe ampliarse la "auscultación" del concreto a otras áreas de la estructura en donde aparentemente no haya daño, pero que también puedan padecer de insuficiencia en el espesor del recubrimiento de concreto.

La reparación de daños de corrosión ocasionados por excesiva corrosividad en el medio de contacto externo, no sólo amerita restablecer el espesor de recubrimiento adecuado, sino también examinar la conveniencia de reponer el concreto dañado con un material diferente y/o aplicar una protección adicional a la superficie reparada. Además, en este caso, es importante definir hasta dónde debe eliminarse concreto aparentemente sano pero que puede estar afectado por la penetración de agentes corrosivos. Así, por ejemplo, cuando la corrosión es atribuible a exceso en el contenido de cloruros del concreto, un criterio que suele aplicarse⁽³¹⁾ para definir cuándo remover el concreto afectado es como sigue:

Contenido de cloruros (kg Cl ⁻ /m ³ concreto)	Plan de remoción de concreto
Menos de 0.6	Dejar el concreto sin remover
Entre 0.6 y 1.2	Remoción dudosa; depende de la decisión del propietario en cuanto a aceptar el riesgo y el costo por futuros problemas de corrosión
Más de 1.2	Remover el concreto hasta descubrir el lecho superior de las varillas de refuerzo

Si el deterioro prematuro de la estructura por corrosión del acero de refuerzo se atribuye a baja calidad original del concreto, como por ejemplo haber utilizado una relación agua/cemento más alta de lo conveniente, entonces puede resultar superfluo tratar de emplear en la reparación un material diferente con mejores propiedades. En este caso, tal vez lo más indicado sea reponer el concreto dañado con un concreto similar (hecho con una relación agua/cemento más baja), dándole el espesor de recubrimiento necesario, y aplicarle una protección adicional externa no solamente a la superficie restaurada sino también a toda la superficie expuesta de la estructura afectada.

Prácticas Recomendables

Existen ciertas prácticas de eficacia reconocida, que de una manera general pueden recomendarse para su aplicación en los trabajos de reparación de las estructuras de concreto deterioradas por la corrosión del acero de refuerzo. A continuación se les describe brevemente, en orden de ejecución⁽³²⁾.

Zona afectada -- Debe definirse con precisión el contorno de la zona afectada por el deterioro, tratando de configurar áreas cuadradas o rectangulares delimitadas por líneas de trazos rectos, con esquinas en ángulo recto preferentemente. Estos límites deben marcarse sobre la superficie de la estructura, para que sirvan de guía en la remoción del concreto.

Remoción del concreto -- Debe formarse una ranura perpendicular a la superficie del concreto, recorriendo con una sierra de disco el contorno del área marcada; la profundidad de esta ranura puede variar entre 10 y 30 mm aproximadamente. Apoyándose en la ranura, debe efectuarse la remoción del concreto situado dentro del área; si ésta es reducida puede emplearse herramienta de mano, pero si es amplia deben utilizarse martillos neumáticos o eléctricos de peso ligero. La remoción debe profundizarse, por lo menos, hasta descubrir completamente la varillas corroídas, dejando un espacio libre de 25 mm por debajo de éstas; pero si el concreto a esta profundidad no es aceptable, debe continuarse la remoción a mayor profundidad hasta encontrar concreto sano.

Limpieza de las varillas -- Debe removerse toda la herrumbre que cubre las varillas, hasta dejar la apariencia del "metal blanco"; esta remoción y limpieza debe efectuarse preferiblemente con chorro de arena ("sand blast") aplicándolo también en forma oblicua de modo que actúe en la parte inferior de las varillas (lado "ciego"), cuyo efecto de limpieza en esta parte debe comprobarse cuidadosamente, tal vez con la ayuda de un pequeño espejo.

Evaluación de las varillas -- Si las varillas libres de herrumbre conservan 80 por ciento o más de su sección transversal nominal, puede ser admisible continuar la reparación sin necesidad de refuerzo adicional. De no ser así, deben considerarse como opciones la adición de varillas complementarias o la sustitución por varillas equivalentes. En ambos casos deben proveerse los traslapes requeridos por reglamento, o en su defecto puede considerarse el uso de empalmes soldados o con conectores.

Protección a las varillas -- No hay uniformidad de opiniones en cuanto a la conveniencia de aplicar un revestimiento anticorrosivo de protección a las varillas ya rehabilitadas, antes de colocar el nuevo material que repone el concreto removido. Para los casos más frecuentes, se considera que un revestimiento de esta naturaleza no es indispensable, y por tanto es preferible no aplicarlo para evitar el riesgo de que pueda resultar

contraproducente. En todo caso, lo que puede permitirse es la aplicación en la superficie de las varillas de una lechada de agua y cemento suficientemente espesa para su aplicación con brocha, siempre y cuando se utilice mortero o concreto de cemento portland como material de reposición y éste se coloque enseguida, antes de que dicha lechada haya secado.

Material de reposición -- Para reponer el concreto deteriorado o afectado por los agentes corrosivos, después de su remoción y de la rehabilitación del acero de refuerzo corroído, es posible considerar optativamente los siguientes materiales:

- Morteros o concretos convencionales de cemento portland, con una relación agua/cemento adecuada a las condiciones de exposición.
- Morteros o concretos de cemento portland, con aditivos inhibidores de corrosión, o con aditivos reductores de permeabilidad, o modificados con látex.
- Morteros o concretos de cemento sin contracción, predosificados en seco (listos para usarse).
- Morteros o concreto con aglutinantes distintos al cemento hidráulico (principalmente resinas epoxy).

Un aspecto importante que debe tomarse en cuenta para decidir la clase de material de reposición, se refiere al tamaño de las áreas reparadas en relación con las dimensiones de la superficie total expuesta. Así, hay casos en que el área de reparación corresponde a toda la superficie expuesta, como sucede en las losas de puentes que deben recibir una capa de material sobrepuesta en toda su extensión, en cuyo caso se requiere sobreponer un material adecuado para el servicio y que además brinde mejor protección contra una futura corrosión, por lo cual es frecuente el empleo de morteros o concretos de cemento portland mejorados con aditivos (microsílice, látex, etc.).

Por el contrario, existen casos en que las áreas reparadas no abarcan toda la superficie expuesta de la estructura, sino que más bien corresponden a "parches" en zonas específicas de área reducida. En estas condiciones puede ser innecesario utilizar un material de reposición con mejores propiedades que el concreto circundante, dado que éste continuaría representando el punto débil de la estructura en su desempeño frente a la acción de los agentes causantes de corrosión. Por tanto, una solución para estos casos puede consistir en utilizar como material de reposición en los parches, un mortero o concreto convencional de cemento portland, o un mortero o concreto de cemento sin contracción, y después aplicar un recubrimiento de protección a toda la superficie expuesta, incluyendo las áreas recién reparadas.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a la Srta. Martha Gómez Toledo su valiosa contribución a este trabajo, al transcribir eficientemente el manuscrito.

REFERENCIAS

1. Hime, W.G. "Chloride-Caused Corrosion of Steel in Concrete: A New Historical Perspective". Concrete International. Vol. 16. No. 5. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1994
2. Wolsiefer, J.T. "Silica Fume Concrete: A Solution to Steel Reinforcement Corrosion in Concrete". ACI SP-126. Paper 28. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1991
3. Castro Borges, P. "Estragos por 13 Mil Millones de Dólares Causa la Corrosión en el País Cada Año". Excélsior. Julio 1, 1993. México, D.F., MEX.
4. Montgomery, R.E.; Basheer, P.A.M. and Long, A.E. "Influence of Curing Conditions on the Durability Related Properties of Near Surface Concrete and Cement Mortars". ACI SP-131. Paper 5. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1992
5. Hwang, C.L.; Lin, R.Y.; Chen, J.C. and Kuo, J.H. "Crack Patterns and Measurement Technique in Reinforced Concrete Structures". ACI SP-126. Paper 62. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1991
6. Mendoza, E., C.J. "Evitando Agrietamientos se Mejora la Durabilidad". Seminario Durabilidad Concreto. Monterrey, MEX. 1993
7. Comisión Federal de Electricidad. "Manual de Mantenimiento para Concreto". Subdirección de Producción. México, D.F. MEX. 1991
8. Griffiths, D.; Marosszeky, M. and Sade, D. "Site Study of Factors Leading to a Reduction in Durability of Reinforced Concrete". ACI SP-100. Paper 87. American Concrete Institute. Detroit, USA.
9. Marosszeky, M. and Chew, M. "Site Investigation of Reinforcement Placement on Buildings and Bridges". ACI Compilation 25. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1993
10. Erlin, B. and Verbeck, G.J. "Corrosion of Metals in Concrete Needed Research". ACI SP-49. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1975

11. ACI Committee 318. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete". American Concrete Institute. Detroit, USA. 1989
12. ACI Committee 222. "Corrosion of Metals in Concrete". American Concrete Institute. Detroit, USA. 1989
13. Schiessl, P. "Influence of the Composition of Concrete on the Corrosion Protection of the Reinforcement". ACI SP-100. Paper 82. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1987
14. Whiting, D. "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete". Report No. FHWA/RD-81-119. Federal Highway Administration. Washington, D.C. USA. 1981
15. ASTM Designation C 1202. "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA. 1991
16. Barke, N.S.; Pfeifer, D.W. and Weil, T.G. "Protection Against Chloride-Induced Corrosion". ACI Compilation 25. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1993
17. ACI Committee 201. Report 201.2R. "Guide to Durable Concrete". American Concrete Institute. Detroit, USA. 1992
18. Bratchell, G.E. "Nominal Design Life". The Structural Engineer. Vol. 53 A. No. 7. 1985
19. Fujiwara, M. and Minosaku, K. "Measures Against Deterioration of Concrete Bridges due to Chloride Ions". IABSE Symposium on Durability of Structures. Lisbon, Portugal. 1989
20. Guirguis, S. "A Basis for Determining Minimum Cover Requirement for Durability". ACI SP-100. Paper 26. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1987
21. Meilvaganam, N.P. "Miscellaneous Admixtures - Corrosion Inhibitors". Chapter 9. Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications. New Jersey, USA. 1984
22. Secre, W. and Zollos, G. "New Developments in Corrosion Inhibiting Admixture Systems for Reinforced Concrete". Seminario Internacional Durabilidad Concreto. Monterrey, MEX. 1993
23. ACI Committee 226. Report 226.3R. "Use of Fly Ash in Concrete". American Concrete Institute. Detroit, USA. 1987
24. Anqi, L.; Baoyu, L.; Guoping, H.; Yeibo, C. and Guolian, S. "Study on Corrosion Prevention in Reinforced Concrete Containing Condensed Silica Fume and its Application". ACI SP-126. Paper 26. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1991

25. Ohama, Y. "Polymer-Modified Mortars and Concretes". Chapter 7. Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications. New Jersey, USA. 1984
26. Yeomans, S.R. "Comparative Studies of Galvanized and Epoxy Coated Steel Reinforcement in Concrete". ACI SP-126. Paper 19. American Concrete Institute. Detroit, USA. 1991
27. ACI Committee 515. Report 515.1R "A Guide to the Use of Water-proofing, Dampproofing, Protective and Decorative Barrier Systems for Concrete". American Concrete Institute. Detroit, USA. 1985
28. Aitken, C.T. and Litvan, G.G. "Laboratory Investigation of Concrete Sealers". IRC Report No. IR 574. National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction. Ontario, CAN. 1989
29. Comisión Federal de Electricidad. "Manual de Tecnología del Concreto". Sección 3, Cap. 3.9.3 Corrosión del Acero de Refuerzo. Editorial Limusa, México, D.F., MEX. 1994
30. ASTM Designation C 876. "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA. 1991
31. Suprenant, B.A. "Understanding Chloride Contents". Concrete Repair Digest. Vol. 4 No. 5, Addison, USA. 1993
32. Suprenant, B.A. and Murray, M.A. "How to Place Durable Partial Depth Patches". Concrete Repair Digest. Vol. 4 No. 5. Addison, USA. 1993

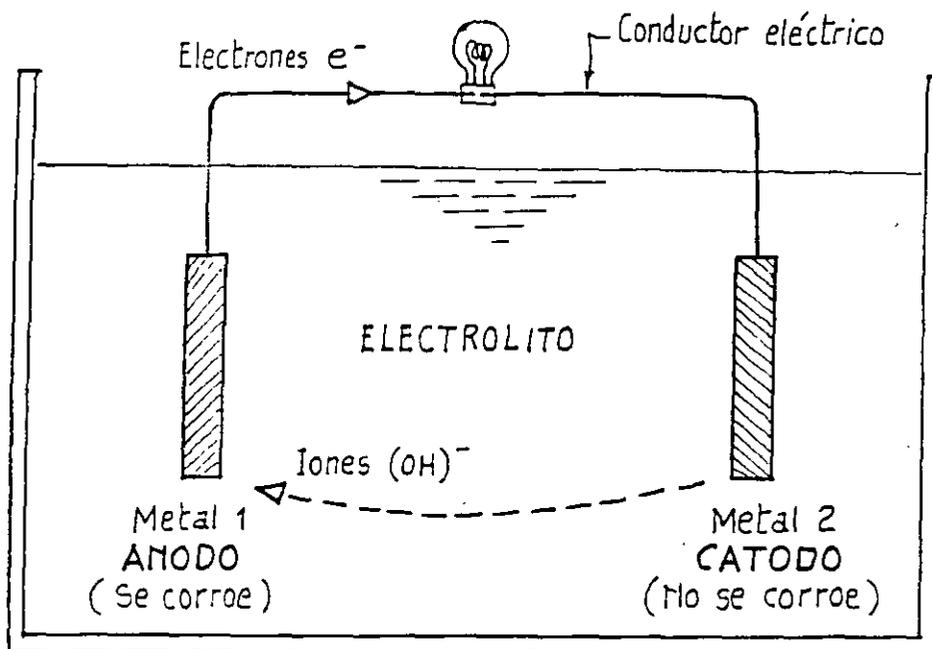


Fig 1. Celda galvánica de corrosión electrolítica

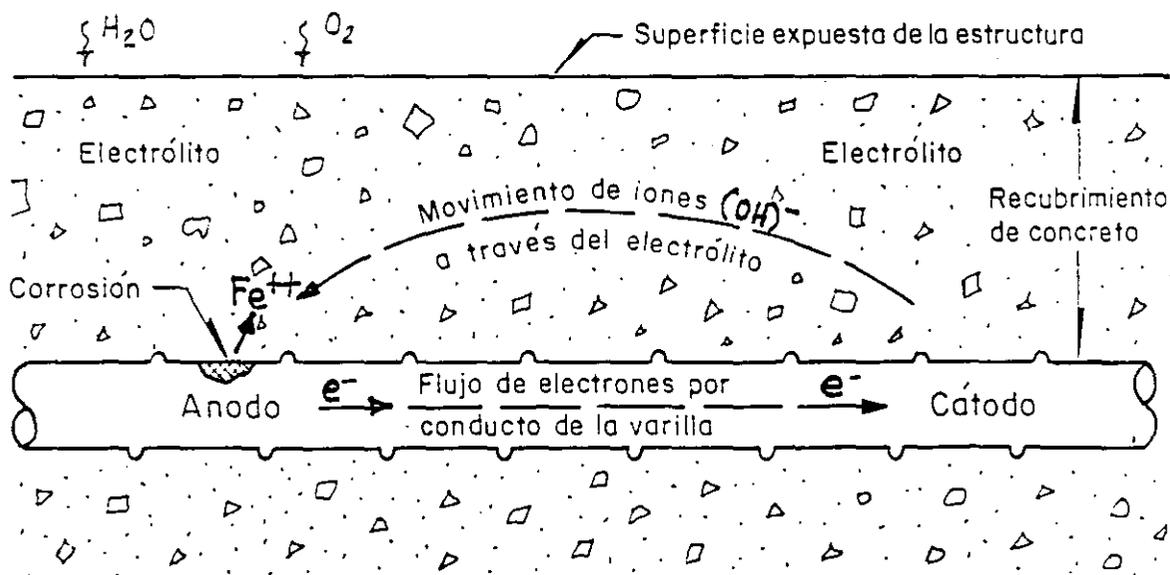


Fig 2. Celda de corrosión electrolítica en el concreto reforzado

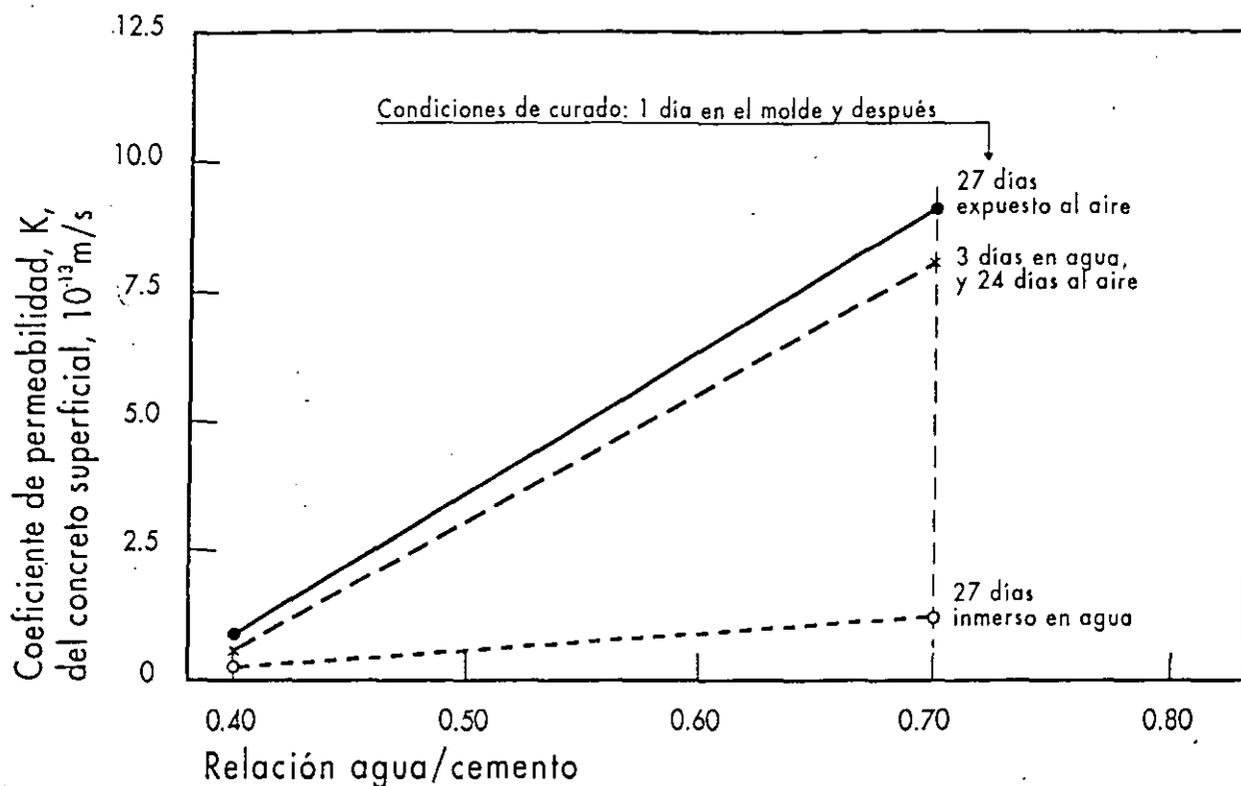


Fig 3. Influencia de la relación agua/cemento y el curado en la permeabilidad superficial del concreto. ⁽⁴⁾

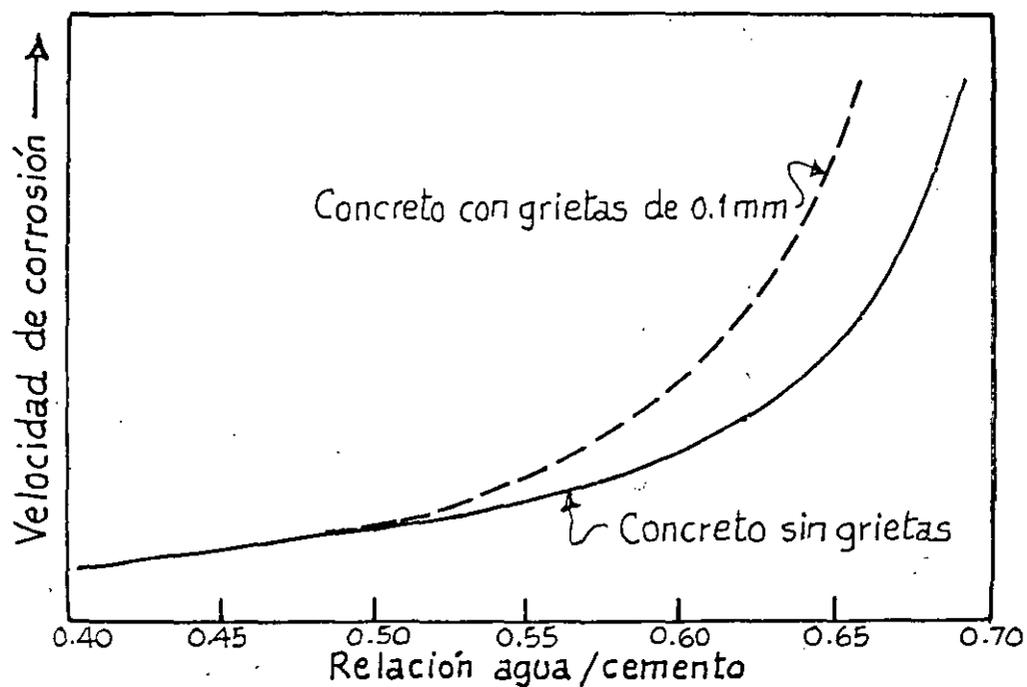


Fig 4. Influencia de la relación agua/cemento y el agrietamiento del concreto en la corrosión del acero de refuerzo. ⁽⁵⁾

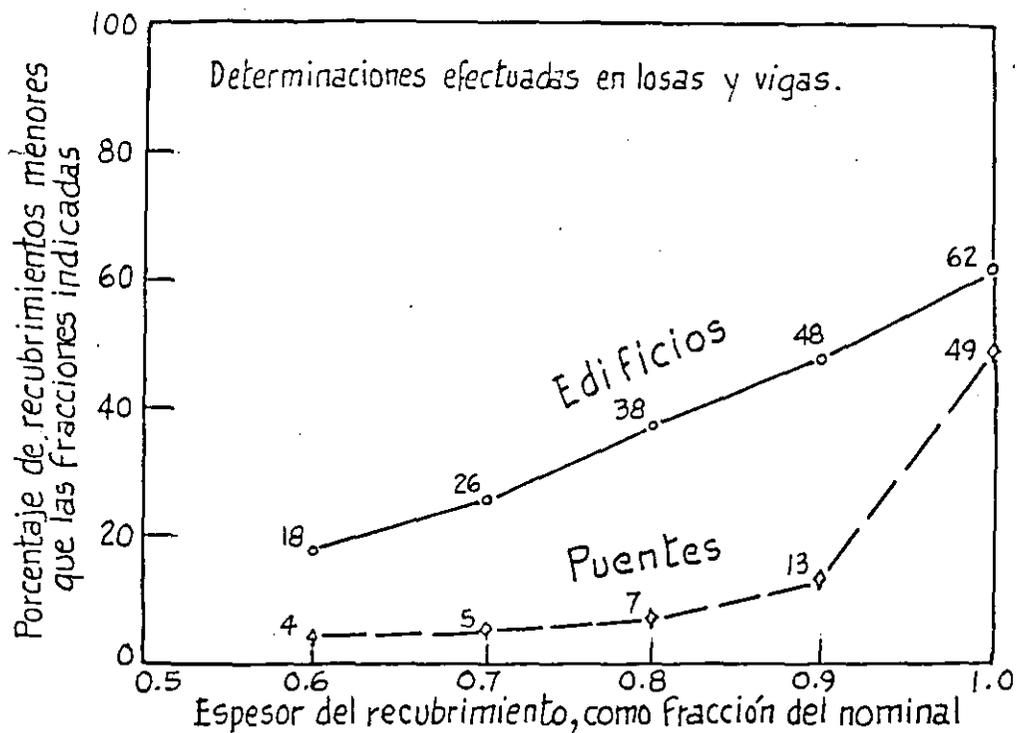


Fig 5. Incumplimiento de los espesores de recubrimiento especificados en las estructuras de concreto⁽⁹⁾

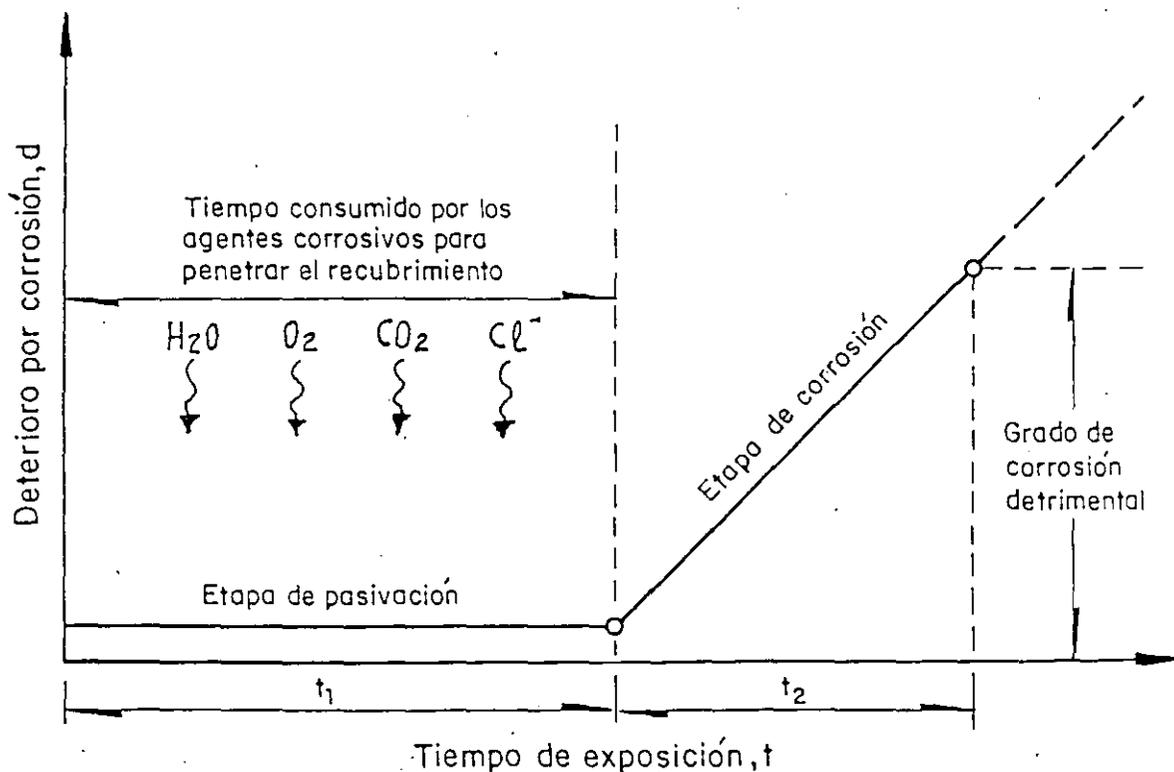


Fig 6. Evolución del proceso de corrosión del acero de refuerzo del concreto en presencia de agentes corrosivos.

DURABILIDAD DEL CONCRETO EN MEXICO

Por Manuel Mena Ferrer

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. Refiriéndose al concreto, es posible considerar su durabilidad bajo dos diferentes aspectos:

1. La durabilidad intrínseca del concreto como material de construcción, que depende de la calidad individual y compatibilidad de sus componentes, de las proporciones en que éstos se combinan, y de los diversos factores relacionados con su elaboración, incluyendo el control de la producción.

2. La durabilidad del concreto en la estructura, que no sólo depende de la durabilidad intrínseca del concreto que se emplea, sino también de otros factores tales como el rigor de las condiciones de exposición y servicio, la adecuación del proyecto estructural y funcional a dichas condiciones, la cumplida ejecución de la obra en todos sentidos, incluyendo el control y la supervisión de las actividades inherentes, y el adecuado mantenimiento operativo de la estructura en servicio.

Como resulta evidente, el tema de la durabilidad del concreto requiere ser tratado bajo el segundo aspecto, es decir conforme a su desempeño en la estructura, porque toma en cuenta todos los factores directa o indirectamente involucrados.

ACTUALIDAD DEL TEMA

La preocupación por la durabilidad del concreto es un asunto de permanente actualidad, a lo cual contribuyen significativamente las siguientes causas:

1. Crece continuamente el número de estructuras de concreto cuya vida útil de proyecto llega a su término, y existe interés por conocer cuánto tiempo más podrán permanecer "en activo".
2. Se tiende a diversificar los usos del concreto para competir con otros materiales.
3. Se exige más y mejor capacidad de trabajo del concreto en muchas de las nuevas aplicaciones.
4. Los avances tecnológicos en cuanto a materiales, equipos y procedimientos relacionados con el uso del concreto, denotan con frecuencia más interés por la economía que por la calidad.
5. Surgen constantemente casos impredecibles de estructuras de concreto deterioradas prematuramente, para cuya justificación no siempre existen explicaciones satisfactorias.

Dado que estas causas no son privativas de algún país o región en particular, sus efectos han dado motivo para un creciente interés global por la durabilidad del concreto, que se ha manifestado por la frecuente realización de reuniones internacionales para examinar este asunto.

COMPLEJIDAD DEL TEMA

Para abordar el tema de la durabilidad de las estructuras de concreto en toda su amplitud, es necesario considerar todos los fac-

tores que intervienen en el proceso de planeación, proyecto y construcción, y posteriormente en el curso de su vida de servicio. Los requisitos mínimos que deben cumplirse en las diferentes etapas de este proceso, a fin de lograr estructuras de concreto duraderas, en términos generales son:

1. Evaluación anticipada y justa de las condiciones de exposición y servicio previstas para el concreto en la estructura.
2. Proyecto estructural y funcional de la estructura acorde con las condiciones evaluadas.
3. Redacción de especificaciones de construcción adecuadas al proyecto y características de la estructura y a las condiciones de obra.
4. Selección de componentes, diseño de la mezcla y fabricación del concreto con la calidad requerida y especificada. (Uso de concreto de durabilidad intrínseca apropiada).
5. Ejecución correcta de la obra conforme al proyecto y las especificaciones, con el empleo de personal, equipos y procedimientos de construcción idóneos, y con un eficiente sistema de control y supervisión.
6. Protección y conservación eficaz de las estructuras en servicio, mediante actividades rutinarias de inspección y reparación. (Mantenimiento preventivo y correctivo).
7. Establecimiento de programas de seguimiento operativo de las estructuras y retroalimentación de datos a proyecto y construcción, con el propósito de aprovechar experiencias para mejorar la durabilidad de las estructuras en obras posteriores.

En lo que compete al alcance de estas notas, sólo procede hacer una breve exposición de los principales factores de riesgo que se hallan involucrados en los puntos 1, 4 y 5 de la relación precedente, y en particular de los que tienen mayores posibilidades de ocurrir en el medio local. Es decir, se pretende señalar las condiciones más riesgosas de exposición y servicio, los principales aspectos que determinan la durabilidad intrínseca del concreto, y ciertas prácticas constructivas que si no se realizan adecuadamente pueden incidir negativamente en la durabilidad del concreto en la estructura.

CONDICIONES DE EXPOSICION Y SERVICIO

Una de las primeras actividades que deben llevarse a cabo en la etapa de los estudios previos a la construcción de una estructura, consiste en evaluar las condiciones a que permanecerá expuesto y en que prestará servicio el concreto. Si estas condiciones no se identifican como riesgosas, es lícito suponer que la durabilidad intrínseca natural del concreto, que posea la resistencia a compresión especificada, deberá ser suficiente para soportarlas convenientemente; de lo contrario, en condiciones que impliquen riesgo, deberán adoptarse medidas para mejorar la durabilidad intrínseca del concreto que se utilice, en función de la índole de las acciones perjudiciales que se prevean.

A continuación se hace un repaso de las condiciones de exposición y servicio que con más frecuencia afectan la durabilidad del concreto y las medidas de prevención y/o protección que en cada caso son recomendables.

Bajas temperaturas ambientales

Las bajas temperaturas ambientales pueden causar daño al concreto, si son lo suficientemente bajas como para producir la congelación del agua que se halla en su interior: el agua al congelarse incre-

menta alrededor de 10 por ciento su volumen, lo que genera tensiones internas capaces de deteriorar el concreto. Esta condición adversa puede afectar tanto al concreto recién colado como ya endurecido, si bien sus efectos se manifiestan con distinta prontitud e intensidad. Si el concreto se congela recién fraguado (tierno) no posee resistencia para soportar los esfuerzos de tensión que se producen y sufre de inmediato un daño considerable. En el caso del concreto endurecido, que ya posee alguna resistencia a tensión, es posible que el daño no se haga evidente sino al cabo de cierto número de ciclos de congelación y deshielo, cuyos efectos al acumularse terminan por deteriorar el concreto.

Consecuentemente con ello, las medidas de prevención que se recomiendan en ambos casos tienen diferente función: en el caso del concreto recién colado lo que se requiere es protegerlo para evitar su congelación, en tanto que en el concreto ya endurecido lo que se pretende es que, aunque el agua interna se congele, no le produzca deterioro al concreto. Para lo primero existen recomendaciones específicas aplicables a los colados que se efectúan en clima frío,⁽¹⁾ mientras que para proteger al concreto endurecido ya en servicio contra los efectos de la congelación y el deshielo, el medio más común consiste en utilizar un aditivo inclusor de aire durante su elaboración.

El Comité ACI 306⁽¹⁾ define como clima frío, para fines de la ejecución de colados de concreto, cuando durante tres días consecutivos se presentan estas dos condiciones: 1) la temperatura media diaria del aire es menor de 5° C, y 2) la temperatura del aire no excede a 10° C durante más de la mitad del tiempo en un lapso de 24 horas. De acuerdo con las características climatológicas del territorio nacional, estas condiciones sólo se conjugan transitoriamente durante el invierno en algunas zonas del norte del país,⁽²⁾ a diferencia de regiones más septentrionales, en otros países, en que dichas condiciones prevalecen durante gran parte del invierno.

Mediando esta circunstancia, y considerando que las acciones para proteger al concreto que se cuele en clima frío son laboriosas y relativamente costosas, en las condiciones del medio local puede optarse por evitar la ejecución de colados cuando ocurran las bajas temperaturas dichas, ya que normalmente son pasajeras, lo cual puede representar la necesidad de diferirlo sólo unos cuantos días. En todo caso lo que sí es conveniente en estos colados, aunque la temperatura no descienda a los valores indicados, es considerar el uso de agua caliente (alrededor de 60° C) para el mezclado del concreto y/o de un aditivo acelerante del fraguado y de la adquisición de resistencia.

Por otra parte, el uso de un aditivo inclusor de aire durante la elaboración del concreto, es una práctica obligada en la construcción de estructuras que prestan servicio a la intemperie en regiones donde ocurren nevadas, a fin de darles protección contra los efectos de los ciclos de congelación y deshielo, en cuyo caso se hallan los pavimentos, puentes y otras estructuras de concreto hidráulico de las zonas más frías del norte del país. En estos casos, particularmente en puentes, existe el riesgo adicional de degradación del concreto cuando se utilizan sales para inducir la descongelación en la superficie de rodamiento, pues dichas sales (frecuentemente cloruros de calcio o sodio) al cristalizar coadyuvan al deterioro del concreto, y al penetrar en éste propician la corrosión del acero de refuerzo.

Para que el aire incluido proporcione una adecuada protección al concreto en este aspecto, es necesario que constituya un sistema de vacíos con determinadas características, en cuanto a la proporción que dichos vacíos representan en el volumen del concreto y en cuanto a la esfericidad, diámetro medio, granulometría, superficie específica, separación y distribución de las burbujas que constituyen el sistema. A fin de comprobar si un aditivo inclusor de aire es capaz de producir un apropiado sistema de vacíos en el concreto, debe ser sometido previamente a las pruebas necesarias (ASTM C 260/NOM C-200). En lo que se refiere al diseño de las mezclas de concreto con aire

incluido, es conveniente ajustarse a los conceptos de la práctica recomendada por el Comité ACI 211.⁽³⁾

Altas temperaturas ambientales

En relación con la durabilidad del concreto, las altas temperaturas ambientales no son propiamente dañinas en la etapa de servicio de las estructuras sino más bien en la etapa de su construcción e inmediata posterior a ésta, por cuanto afectan la hidratación del cemento y propician cambios volumétricos en la estructura.

La hidratación del cemento, como toda reacción química, se hace más lenta al disminuir la temperatura y se vuelve más rápida cuando ésta aumenta, de modo que en tiempo frío el concreto fragua y adquiere resistencia más lentamente, en tanto que en tiempo caluroso sucede lo contrario. De esta manera, al representar la adquisición de resistencia a compresión del concreto a diferentes temperaturas, se obtienen curvas como las que se muestran en la Fig 1.⁽⁴⁾

Es pertinente observar en esta figura que el concreto cuyo cemento se hidrata a mayor temperatura (en este caso 49° C) adquiere mayor resistencia en las primeras edades, pero al cabo de 28 días es el que menos resistencia manifiesta, lo cual se atribuye a la falta de uniformidad de los productos de hidratación que se producen en alta temperatura de curado, tal como se indica esquemáticamente en la Fig 2.⁽⁵⁾ La consecuencia práctica de ello es que buena parte del cemento no logra hidratarse y el concreto no alcanza a desarrollar todas sus propiedades potenciales, incluyendo la de ser durable.

En cuanto a los cambios volumétricos, el comportamiento del concreto endurecido no es diferente al de otros materiales: al calentarse se expande y al enfriarse se contrae. En este aspecto, conviene hacer notar que la temperatura que alcanza el concreto en la estructura a raíz de su construcción, es consecuencia de la temperatura inicial del concreto fresco al ser colocado y del calor que a con-

tinuación se desarrolla por efecto de la hidratación del cemento. La temperatura inicial de la mezcla de concreto depende de las temperaturas de sus componentes, y éstas a su vez están en función directa de la temperatura del medio ambiente. Por lo que se refiere a la elevación de temperatura debida al calor de hidratación del cemento, depende de las características y consumo del cemento y de las dimensiones y condiciones de exposición de la estructura, aunque también recibe cierta influencia de las condiciones térmicas ambientales.

De acuerdo con lo anterior cabe esperar que si el concreto se cuele en condiciones de alta temperatura ambiental, sin tomar medidas modificativas de ninguna especie, al cabo de cierto tiempo el concreto en el interior de la estructura debe manifestar una temperatura más elevada que la media del ambiente; de tal modo que, conforme ambas temperaturas tiendan a igualarse, el concreto deberá tender a contraerse dando lugar a esfuerzos de tensión que pueden provocar agrietamientos en la estructura, y con ello afectar su durabilidad potencial.

La definición de clima cálido para fines de colado es menos precisa que la de clima frío; así, por ejemplo, el Comité ACI 305⁽⁶⁾ prefiere ser pragmático al definirlo, pues considera como clima caluroso "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"; aunque también admite que en cada caso particular debe haber una temperatura máxima permisible para el concreto colocado en la estructura, posiblemente a un nivel comprendido entre 24 y 38° C.

A diferencia de las condiciones de clima frío que sólo resultan críticas en forma pasajera durante el invierno en algunas zonas del norte del país, las que pueden identificarse con el clima caluroso prevalecen durante el resto del año en gran parte del territorio nacional.⁽²⁾ En este aspecto resulta particularmente riesgoso el clima

semidesértico, cálido y seco, que se manifiesta en varias zonas del norte del país durante el verano, pues al efecto de las altas temperaturas se suma el de la baja humedad relativa ambiental que resulta muy perjudicial cuando se cuegan pavimentos de concreto hidráulico, porque propicia el resecamiento del concreto recién colocado y la aparición de grietas por contracción plástica.

Para la ejecución de colados en clima caluroso existen una serie de medidas aplicables, que van desde reducir la temperatura del concreto al mezclarlo hasta enfriar el concreto colocado en la estructura, y cuya utilización depende normalmente de las características dimensionales y de exposición de las estructuras. Para el caso de estructuras ordinarias de concreto (no masivas) el informe del Comité ACI 305⁽⁶⁾ contiene las principales recomendaciones básicas para los colados que deben realizarse en clima cálido, las cuales se resumen, adaptadas a las condiciones y facilidades locales, en el suplemento mexicano⁽²⁾ al informe del Comité ACI 201.⁽⁷⁾

Ataque de los sulfatos

Las estructuras de concreto, tales como pavimentos, pilas de puentes y otras, que prestan servicio en contacto con el terreno y eventualmente con aguas freáticas o superficiales, corren riesgo de sufrir deterioro prematuro si el medio de contacto posee un elevado contenido de sulfatos. Aun cuando no hay límite preciso para distinguir las concentraciones de sulfatos que son dañinas o inocuas para el concreto de cemento portland, normalmente se supone que son riesgosas a partir de 0.1 por ciento de sulfatos solubles ($SO_4^{=}$) en el suelo y de 150 ppm en el agua de contacto.

El ataque de los sulfatos al concreto obedece a un mecanismo principalmente químico, aunque también contiene cierto componente físico. El proceso químico puede resumirse diciendo que los sulfatos externos en solución penetran en el concreto y reaccionan con el aluminato tricálcico (C_3A) del cemento portland para terminar formando sul-

foaluminato de calcio, cuya formación se acompaña de un aumento de volumen que genera tensiones internas capaces de agrietar primero y desintegrar después el concreto. El proceso físico se manifiesta cuando el concreto se satura y seca sucesivamente, pues durante el secado las sales que penetran en solución se cristalizan y aumentan de volumen, contribuyendo a las tensiones destructivas.

De lo anterior resulta que para dar protección al concreto contra el ataque de los sulfatos, lo que procede es evitar las condiciones que permiten el desarrollo del proceso destructivo, y así, existen tres maneras principales de suministrar dicha protección al concreto, cuando es inevitable que preste servicio en contacto con un medio agresivo de esta naturaleza:

- a) Utilizar un cemento que no reaccione en grado detrimental con los sulfatos, ya sea porque posee un bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A) o porque contiene un material (como ciertas puzolanas) capaz de inhibir la reacción o sus efectos.
- b) Producir un concreto que sea compacto e impermeable, empleando una baja relación agua/cemento, a fin de restringir la penetración de los sulfatos en solución. (Ver Fig 3).
- c) Aplicar un recubrimiento superficial al concreto, o colocar un elemento separador, con objeto de evitar que se produzca contacto directo entre el concreto y el medio agresivo.

En la Tabla 1, reproducida del informe del Comité ACI 201,⁽⁷⁾ se relacionan los diferentes grados de agresividad del suelo y el agua de acuerdo con su concentración de sulfatos, y se indican los tipos y clases de cemento y las relaciones agua/cemento que en cada caso son recomendables. Es pertinente observar que el agua de mar, en función de su contenido de sulfatos, es considerada como un medio moderadamente agresivo; sin embargo, en zonas pantanosas y albuferas, en donde el agua de mar tiene poco movimiento o se halla estan-

cada y expuesta a la evaporación, su contenido de sulfatos puede incrementarse considerablemente hasta convertirla en un medio muy agresivo. Por otra parte, debido al elevado contenido de cloruros en el agua de mar, siempre hay que considerarla como un medio de contacto potencialmente dañino para el concreto reforzado, por el riesgo que representa para la corrosión del acero de refuerzo.

En la República Mexicana existen numerosas zonas en donde las estructuras de concreto deben protegerse contra el ataque de los sulfatos, por la elevada concentración de éstos en el medio de contacto. A manera de algunos ejemplos pueden mencionarse las zonas costeras de ambos litorales, en especial las tierras bajas pantanosas y las lagunas inmediatas al Golfo de México en los Estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán; la zona de influencia de las aguas del Río Colorado en su desembocadura en el Golfo de California; las zonas desérticas y semidesérticas en los Estados de Baja California, Sonora y Chihuahua, principalmente; el lecho seco del Lago de Texcoco en el Estado de México, etc.

Tomando en cuenta la gran probabilidad que existe en el territorio nacional de que el concreto se deteriore prematuramente por el ataque de los sulfatos, debe considerarse como una práctica obligada entre los estudios preliminares a la construcción de cualquier estructura, efectuar el análisis químico del suelo y/o del agua freática o superficial de contacto, en el sitio destinado a la cimentación.

Corrosión del acero de refuerzo

La corrosión del acero de refuerzo es una de las causas más frecuentes de deterioro prematuro de las estructuras de concreto, y aunque parece responder a un mecanismo deteriorante de naturaleza interna, los agentes que promueven el fenómeno proceden del exterior por lo que es procedente incluirlo entre las condiciones de exposición que afectan la durabilidad del concreto.

El acero normalmente sufre corrosión en presencia de agua y oxígeno, de modo que ambos elementos son indispensables para que se produzca el fenómeno; pero además su desarrollo puede verse acelerado si el agua contiene ciertas sales (como los cloruros) que pueden convertirla en un medio favorable para la corrosión electrolítica, y por otra parte el aire, que es la fuente del oxígeno, puede contener ciertos gases productos de la contaminación atmosférica (como el bióxido de carbono) que contribuyen a incrementar la corrosión. De este modo, tratándose del acero que sirve de refuerzo al concreto, puede suponerse que su corrosión sólo debe ocurrir cuando hasta él tienen acceso el agua y el oxígeno, con sus correspondientes agentes corrosivos adicionales.

El concreto endurecido que envuelve al acero de refuerzo, de ordinario le proporciona una adecuada protección contra la corrosión, debido a que es un medio alcalino con un pH normalmente mayor de 10. Sin embargo, hay ocasiones en que no ocurre así, por diversas causas entre las que cabe destacar las siguientes:

- a) El concreto es demasiado permeable al agua y al aire
- b) Existen grietas superficiales en la estructura
- c) El recubrimiento de concreto es de poco espesor
- d) El medio húmedo de contacto es muy corrosivo

El concreto hidráulico no es absolutamente impermeable ni al agua ni al aire, pero cuando es compacto y posee una baja relación agua/cemento, exhibe una reducida permeabilidad (ver Fig 3) que suele ser suficiente para proteger al acero de refuerzo contra la corrosión, a menos que concurren otros factores ajenos. Bajo tal consideración, cuando el riesgo de corrosión es alto, se acostumbra recomendar el uso de una baja relación agua/cemento, independientemente de que no sea necesaria por razones de resistencia mecánica, como es el caso de las estructuras que deben prestar servicio en contacto intermitente o esporádico con agua de mar. Sin embargo, se ha dicho⁽⁸⁾ que una causa frecuente de falta de durabilidad en las

estructuras de concreto es precisamente el hecho de no emplear la relación agua/cemento apropiada, porque se acostumbra especificar y admitir la calidad del concreto con base únicamente en su resistencia a compresión.

Pero además, si el concreto es muy permeable al aire y este contiene una anormalmente alta proporción de bióxido de carbono (CO_2) se favorece el llamado efecto de carbonatación del concreto. Según éste, el bióxido de carbono se combina con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento para formar carbonato de calcio, cuyas consecuencias adversas son: 1) disminución en el grado alcalino del concreto y en su capacidad de protección al acero de refuerzo contra la corrosión, y 2) aumento en la contracción del concreto y en la posibilidad de agrietamiento por este concepto.

Las grietas en las estructuras constituyen vías que facilitan el acceso del agua y el oxígeno (y eventualmente otros agentes corrosivos) hasta el acero de refuerzo, por lo que su presencia representa mayor riesgo de que éste sufra corrosión. Las grietas pueden considerarse divididas en estructurales e intrínsecas; las primeras dependen del funcionamiento de la estructura y deben poder evitarse mediante un diseño acorde con las cargas y sollicitaciones previstas. En cuanto a las grietas intrínsecas o no estructurales pueden ser de tres diferentes tipos, que normalmente se manifiestan a las siguientes edades: ⁽⁹⁾

<u>Tipo de grietas</u>	<u>Tiempo de manifestación</u>
De contracción plástica	En las primeras horas después del colado
De contracción térmica temprana	Desde un día hasta dos o tres semanas
De contracción por secado a largo plazo	Después de varias semanas, e incluso meses

En la aparición de estos tipos de grietas influyen mucho las carac-

terísticas y propiedades intrínsecas del concreto que se emplea y las prácticas constructivas que se utilizan, que son responsabilidad de quien selecciona los componentes y diseña la mezcla de concreto, y de quien elabora y utiliza el concreto en el curso de la construcción de la obra.

El espesor del recubrimiento de concreto juega un papel muy importante en la protección del acero de refuerzo, por cuyo motivo se le especifica en función del grado de riesgo de corrosión que en cada caso existe. En la Tabla 2, reproducida de la Referencia 2, se indican los espesores mínimos y las relaciones agua/cemento máximas que son recomendables en el concreto para tres diferentes niveles estimados de riesgo de corrosión.

El proceso de corrosión del acero de refuerzo, particularmente en presencia de un medio de contacto de alto grado de corrosividad, es un mecanismo que suele presentar dos fases, una pasiva y otra activa, tal como se representa en la Fig 4. En la fase pasiva la corrosión se mantiene en un grado de avance reducido y puede pasar inadvertida, pero llega un momento (T_g) en que el proceso se acelera intempestivamente y conduce en corto tiempo a la inhabilitación del acero de refuerzo y posiblemente de la estructura. De ahí la importancia de la inspección rutinaria y del mantenimiento oportuno como elementos indispensables para asegurar una cierta durabilidad mínima en las estructuras de concreto.

Para los casos en que las condiciones de exposición y servicio se consideran críticas para efectos de la corrosión del acero de refuerzo, es posible adoptar ciertas medidas preventivas adicionales tales como aplicar un recubrimiento protector a las varillas de refuerzo antes de colar el concreto y/o revestir la superficie de la estructura en contacto con el medio corrosivo con una sustancia o material que impermeabilice el concreto e impida la penetración de los agentes corrosivos. En este aspecto se han logrado avances importantes con el desarrollo de nuevos productos que inhiben la pe-

netración del ion cloruro (Cl^-) a través del concreto, y cuya investigación se ha enfocado básicamente hacia la protección contra la corrosión del acero de refuerzo en puentes de concreto.⁽¹⁰⁾

Acciones abrasivas

Una condición de servicio en la que con más frecuencia se pone a prueba la durabilidad del concreto es la que corresponde a las estructuras que se hallan expuestas a los efectos de la abrasión, sea ésta de origen hidráulico o mecánico. En apoyo de esta aseveración cabe considerar el hecho de que las estructuras de concreto que mayor mantenimiento demandan son de ordinario las hidráulicas que conducen agua con alta velocidad y los pisos y pavimentos de concreto hidráulico sujetos a intenso tráfico vehicular.

Debido a que la principal defensa del concreto contra la erosión por abrasión es la que oponen los agregados, la alta calidad de éstos en cuanto a dureza y resistencia al desgaste es un requisito indispensable para lograr concretos que sean duraderos en esta clase de servicio. Sin embargo, esto requiere complementarse con el uso de una pasta con baja relación agua/cemento y de una mezcla de concreto bien diseñada y con una consistencia relativamente dura que no propicie el asentamiento y el sangrado durante su colocación, a fin de que no se forme en la superficie libre del concreto una costra de inferior calidad, fácilmente degradable.

En el colado de revestimientos, pisos y pavimentos de concreto hidráulico, hay dos prácticas constructivas que merecen especial consideración por su significativa influencia en la resistencia a la abrasión de las superficies de concreto resultantes, y que son el acabado y el curado. Hay investigaciones⁽¹¹⁾ cuyos resultados muestran un claro beneficio en este aspecto, cuando el acabado de las superficies libres se realiza con llana mecánica en vez de las tradicionales llanas de madera o metálica aplicadas a mano, con la posibilidad de incrementar aun más la resistencia a la abrasión si la

llana mecánica se aplica dos veces en forma consecutiva, con un lapso adecuado de espera entre ambas aplicaciones.

En cuanto al curado, hay también información⁽¹¹⁾,⁽¹²⁾ en el sentido de que un buen curado es esencial para conseguir superficies de concreto resistentes a la abrasión, y que para esta finalidad el mejor curado se obtiene por tres procedimientos opcionales: humedecimiento continuo, colocación de una tela plástica (usualmente polietileno) sobre la superficie, o aplicación de una membrana de curado de alta calidad (generalmente a base de resinas), pero con el requisito de que el procedimiento elegido se ponga en práctica inmediatamente a continuación de dar el acabado.

Cabe señalar que en el medio local, de igual modo que suele ocurrir en otras partes,⁽¹²⁾ hay tendencia a restarle importancia a los beneficios que se obtienen con un buen curado, por lo que es pertinente incluir la Fig 5⁽¹³⁾ en la que se pone de manifiesto la cuantía de la pérdida de resistencia potencial que se ocasiona cuando el concreto no se cura adecuadamente. De este modo, no parece aventurado suponer que esta deficiencia sea una de las principales causas del deterioro prematuro en las estructuras, como los pisos y pavimentos de concreto hidráulico, en que el curado es más importante; y en particular cuando estas estructuras se cuelean en las críticas condiciones representadas por la conjunción de alta temperatura, baja humedad relativa y presencia de viento, que durante el verano acontecen en algunas zonas del país.

CONDICIONES INTRINSECAS

La durabilidad intrínseca del concreto, como material de construcción ya puesto en la estructura, depende básicamente de cuatro factores principales, con sus correspondientes aspectos específicos, según se indican en la siguiente relación.

Factores que influyen en la durabilidad intrínseca del concreto colocadoAspectos específicos

Calidad de los agregados

Características físicas y químicas.

Calidad de la pasta de cemento

Tipo y clase de cemento, calidad del agua, relación agua/cemento, uso de aditivos.

Comportamiento pasta-agregado

Compatibilidad física (adherencia) y química (reacciones adversas).

Prácticas de ejecución (comportamiento del concreto integral)

Concreto fresco: proporcionamiento y manejabilidad de la mezcla.
Concreto endurecido: homogeneidad, compacidad, acabado, curado.

Cualquiera de estos aspectos en que ocurra deficiencia, puede conducir a una disminución de la durabilidad intrínseca del concreto en la estructura, cuyo deterioro prematuro puede ocurrir ó no, dependiendo de la importancia de la deficiencia y de la naturaleza e intensidad de las acciones deteriorantes que se deriven de las condiciones de exposición y servicio.

En orden de frecuencia, las deficiencias más comunes se suscitan en las prácticas de ejecución y en la calidad de la pasta de cemento, quedando en segundo término las deficiencias imputables a la calidad de los agregados y al comportamiento pasta-agregado. Sin embargo, también es necesario jerarquizar estas deficiencias en función de la importancia y trascendencia de los efectos adversos que producen, pues algunos corresponden a deterioros localizados que pueden ser corregidos con relativa facilidad, en tanto que otros pueden representar una afectación generalizada de la estructura, difícil de remediar.

En este último caso se ubican las reacciones químicas detrimen-

que eventualmente se producen entre ciertos agregados y los álcalis en el concreto, y que dan por resultado el deterioro gradual y generalizado del concreto afectado. Debido a que esta reacción álcali-agregado ha sido causa comprobada de la incapacitación precoz de importantes estructuras de concreto en diversos países (presas, puentes, etc.) se considera necesario referirse a ella en particular por el riesgo que representa cuando no se le previene; cuya deficiencia en este aspecto puede tener muy serias consecuencias adversas, técnicas, económicas y sociales, especialmente en las grandes y costosas obras de concreto.

Reacciones álcali-agregado

En toda mezcla de concreto siempre existe un cierto contenido de álcalis (óxidos de sodio y de potasio, Na_2O y K_2O respectivamente) que en su mayoría provienen del cemento, aunque también pueden ser aportados en menor escala por algunos agregados, el agua de mezcla y determinados aditivos (como algunas puzolanas). Todo cemento portland contiene invariablemente una reducida proporción de álcalis, cuyo intervalo de variación en los cementos de producción local suele abarcar aproximadamente desde 0.2 hasta 1.5 por ciento, expresados como Na_2O . En las especificaciones que regulan la fabricación de los cementos portland (ASTM C 150/NOM C-1) se establece que el cemento es de bajo contenido de álcalis cuando no excede a 0.60 por ciento, y ésta es una característica que se considera como requisito opcional que sólo puede volverse obligatorio mediante acuerdo específico entre el comprador y el fabricante, en el suministro de cemento para una determinada aplicación.

Existen algunas rocas y minerales, que se hallan presentes con relativa frecuencia en los agregados para concreto y que son capaces de reaccionar químicamente con los álcalis, formando un gel que al absorber agua se expande y genera presiones internas que tienden a agrietar primero y a desintegrar después el concreto en estado endurecido. De acuerdo con la identidad de estas rocas y minerales, se

distinguen tres tipos de reacciones con los álcalis, como a continuación se indican:

<u>Tipo de reacción</u>	<u>Identidad de las rocas y minerales participantes</u>	<u>Probabilidad de existencia local</u>
Alcali-sílice	Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas que contienen diversas formas de sílice reactiva (vítrea, criptocristalina, microcristalina, o cristalina pero intensamente deformada).	Alta
Alcali-carbonato	Rocas sedimentarias carbonatadas que contienen dolomita y minerales arcillosos.	Mediana
Alcali-silicato	Rocas metamórficas que contienen filosilicatos, de estructura foliada-reticular.	Baja

En la primera reacción intervienen principalmente diversas rocas que contienen ópalo, rocas volcánicas vítreas y ciertas rocas cuarzosas que poseen sílice en su forma reactiva; en la segunda participan básicamente las rocas calizas dolomíticas y arcillosas y finalmente en la tercera se involucran algunas rocas que contienen hidromica. En orden de abundancia, las primeras son muy frecuentes, las segundas son poco frecuentes y las terceras son escasas. Tal vez por este motivo, los casos de reacciones dañinas detectados a nivel mundial se han manifestado en ese mismo orden de frecuencia; consecuentemente con ello, la reacción álcali-sílice es la que ha recibido más atención y sobre la cual existe mayor información en cuanto a su génesis, forma de manifestación y medios comunes de prevención.

Conforme al estado actual del conocimiento, para que se produzca en el concreto una reacción deletérea álcali-agregado, del tipo álcali-

sílice, se requiere la conjunción simultánea de tres condiciones necesarias:

1. Existencia de rocas y minerales con sílice reactiva en el conjunto de rocas que conforman los agregados, y en proporciones que resultan específicamente dañinas de acuerdo con su naturaleza y grado de reactividad. Por ejemplo, hay rocas muy reactivas como las que contienen ópalo y cuya presencia en proporción tan baja como 1 por ciento puede ser riesgosa.

2. Existencia de suficiente cantidad de álcalis en la mezcla de concreto, para que su reacción con la sílice reactiva disponible en los agregados se traduzca en expansiones dañinas al concreto endurecido. Como ya se ha dicho, el cemento es la principal fuente de aportación de álcalis al concreto, y debido a ello en la práctica americana se considera que un buen medio para prevenir la reacción consiste en utilizar un cemento portland con bajo contenido de álcalis (menos de 0.60 %, como Na_2O). Sin embargo en la práctica europea se establece que, además de restringir los álcalis en el cemento, debe limitarse el contenido total de álcalis en la mezcla de concreto a un valor que no exceda a 3 kg/m^3 , incluyendo la eventual aportación de los álcalis provenientes de los agregados el agua de mezclado y los aditivos.

3. Existencia de suficiente humedad en el interior del concreto, a fin de que el gel silico-alkalino pueda absorberla y expandirse. En este aspecto suele considerarse que no es indispensable que la estructura preste servicio en contacto con agua, pues en ocasiones basta con la humedad natural del concreto en contacto con el medio ambiente a la intemperie. Sin embargo, hay información que atribuye las peores condiciones de humedad a los ciclos de humedecimiento y secado, y/o al paso de la humedad a través del concreto; de tal modo que la interposición de una barrera impermeabilizante en el lugar adecuado para evitar estas condiciones, puede constituir un medio auxiliar para prevenir, o por lo menos diferir los efectos de la

dependientes del cemento, y que se incorporan individualmente a las mezclas de concreto en la revolvedora. En el caso de México no existe actualmente esta posibilidad, de manera que la opción consiste en utilizar un cemento portland-puzolana, de los cuales hay un gran número que se fabrican en el país. Sin embargo, es oportuno mencionar que no todas las puzolanas son eficaces para inhibir adecuadamente los efectos de la reacción álcali-agregado, por lo cual antes de emplear un cemento portland-puzolana con esta finalidad, es recomendable verificar su aptitud en este sentido mediante las pruebas que se describen en la Referencia 14.

Tal como se comentó previamente, existe información publicada acerca de numerosas estructuras de concreto que se han deteriorado prematuramente en diversas partes del mundo como consecuencia de reacciones deletéreas álcali-agregado, principalmente del tipo álcali-sílice. En el caso específico de México, hasta hace pocos años no se conocían datos comprobados de estructuras de concreto afectadas por este fenómeno dañino;⁽¹⁴⁾ sin embargo, en el curso de un reciente seminario-local sobre durabilidad del concreto en las obras viales, se mencionó el caso de durmientes de concreto presforzado en los que se detectaron agrietamientos atribuidos a una reacción detrimental álcali-sílice,⁽¹⁵⁾ y el cual aparentemente representa el primer caso documentado de esta reacción, ocurrido en el país.

Debido a la frecuencia con que en México se utilizan agregados que contienen el tipo de sílice que se identifica como potencialmente reactiva con los álcalis, existe la posibilidad de que el caso anterior no constituya un ejemplo aislado de dicha reacción, y puedan aparecer otros a medida que exista mayor seguimiento e información acerca del comportamiento de las estructuras de concreto en servicio. Se opina que esto debe servir como una señal de alerta para que se efectúen oportunamente los estudios preliminares necesarios y se adopten las medidas preventivas que en cada caso procedan, a fin de evitar el riesgo de sufrir deterioro prematuro del concreto por este concepto, en las futuras grandes obras de concreto cuya realización se vislumbra.

reacción, en el caso de estructuras ya construidas en las que exista el riesgo latente de que dicha reacción se produzca en grado detrimental.

Dado que los efectos de esta reacción, una vez iniciada, son progresivos e irreversibles, la manera correcta de proceder consiste en tomar las precauciones necesarias antes de construir las estructuras. Para este objeto existen tres opciones posibles, cuya selección depende de las circunstancias particulares de cada caso:

1. Evitar el empleo de agregados que contengan sílice reactiva, identificada por medio del examen petrográfico de los mismos, a menos que se defina mediante las pruebas reseñadas en la Referencia 2, que tales agregados no producen expansiones deletéreas con los álcalis. Esta opción es tal vez la menos accesible, debido a que pocas veces existe la posibilidad de contar con una fuente alternativa de suministro de agregados que sean probadamente inócuos; además, la definición mediante pruebas directas del grado de reactividad de unos ciertos agregados identificados petrográficamente como potencialmente reactivos, responde a un proceso que suele durar alrededor de 6 meses, por lo menos. En tales circunstancias, lo más probable es que resulte necesario optar por alguna de las dos siguientes medidas.

2. Limitar el contenido unitario de álcalis en el concreto a un máximo de 3 kg/m^3 , cuantificando los álcalis que puedan aportar el cemento, los agregados, el agua de mezcla y los aditivos, de acuerdo con sus respectivos consumos unitarios en la mezcla de concreto de uso previsto. Esta medida, para que alcance cabal eficacia, debe complementarse con el requisito de que el cemento portland que se utilice posea bajo contenido de álcalis (0.60 % máximo).

3. Emplear en el concreto una puzolana que sea probadamente eficaz para inhibir las expansiones detrimentales debidas a la reacción álcali-agregado que se trata de prevenir. En otros países existe la posibilidad de adquirir puzolanas que se ofrecen como materiales in-

REFERENCIAS CITADAS

- (1) ACI Committee 306. Report ACI 306R-88. "Cold Weather Concreting". ACI Manual of Concrete Practice. Part 2. (1991)
- (2) ACI Sección México-Capital. "Guía para la Durabilidad del Concreto. Suplemento Mexicano del Informe del Comité ACI 201". México, D.F. (1989)
- (3) ACI Committee 211. Report 211.1-81. "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete". ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. (1991)
- (4) Portland Cement Association. "Design and Control of Concrete Mixtures". Bulletin PCA No. T-12. (1952)
- (5) Verbeck, G. and Copeland, L.E. "Some Physical and Chemical Aspects of High Pressure Steam Curing". ACI Special Publication No. 32. Paper SP-32-1. (1972)
- (6) ACI Committee 305. Report 305R-89. "Hot Weather Concreting". ACI Manual of Concrete Practice. Part 2. (1991),
- (7) ACI Committee 201. Report 201.2R-77(82). "Guide to Durable Concrete". ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. (1991)
- (8) Neville, A.M. "Why we Have Concrete Durability Problems". ACI Special Publication No. 100. Paper SP-100-3. (1987)
- (9) The Concrete Society. "Non-Structural Cracks in Concrete". Technical Report No. 22. (1982)
- (10) Transportation Research Board. "Concrete Sealers for Protection of Bridges Structures". National Cooperative Highways Research Program Report No. 244. National Research Council. (1981)

- (11) Kettle, R. and Sadegzadeh, M. "The Influence of Construction Procedures on Abrasion Resistance". ACI Special Publication No. 100. Paper SP 100-71. (1987)
- (12) Senbetta, E. and Malchow, G. "Studies on Control of Durability of Concrete Through Proper Curing". ACI Special Publication No. 100. Paper SP 100-7. (1987)
- (13) Portland Cement Association. "Basic Concrete Construction Practices". John Wiley and Sons, Inc. (1975)
- (14) Mena Ferrer, M. "Reacción Alkali-Sílice en el Concreto: Causas, Efectos y Medios de Prevención". Revista IMCYC No. 148. (1983)
- (15) López Vicente, J. "La Reacción Alkali-Agregados". Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres. 6o. Seminario Técnico. (1992)

GRADO DE ATAQUE	CONTENIDO DE SULFATOS, $SO_4^{=}$		CEMENTO RECOMENDABLE	RELACION A/C máx. (a)
	SUELO (%)	AGUA (ppm)		
Benigno	0.00 - 0.10	0 - 150	---	---
Moderado	0.10 - 0.20	150 - 1500 ^(b)	Portland tipo II, portland-puzolana, o portland-escoria de alto horno (MS según ASTM C 595)	0.50
Severo	0.20 - 2.00	1500 - 10000	Portland tipo V	0.45
Muy severo	Más de 2.00	Más de 10000	Portland tipo V + puzolana ^(c)	0.45

Notas:

- (a) Puede ser necesario en ciertos casos utilizar una relación agua/cemento más baja, para prevenir la corrosión de elementos metálicos ahogados en el concreto.
- (b) El agua de mar también se encuentra en esta categoría.
- (c) Debe utilizarse una puzolana que haya demostrado su capacidad para mejorar la resistencia a los sulfatos del concreto hecho con cemento tipo V.

Tabla 1. Medidas recomendables para proteger al concreto contra el ataque de sulfatos con diverso grado de concentración en el medio de contacto. (Ref. 7)

Riesgo de corrosión en el acero de refuerzo. (+)	Agua/cemento máxima, por durabilidad.	Espesor del recubrimiento (mm)	
		Mínimo requerido	Especificable
(1) Bajo	0.55	40	50
(2) Mediano	0.45	50	60
(3) Alto	0.40	75	90

(+) Ejemplos de las condiciones de riesgo:

- (1) Bajo riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo no marino, o en contacto con agua o suelo no corrosivos.
- (2) Mediano riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo marino, o inmerso total y continuamente en agua de mar, o en contacto con agua o suelo moderadamente corrosivos.
- (3) Alto riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto a la acción del oleaje marino, y/o sujeto a periodos de humedecimiento y secado con agua de mar, o en contacto con agua o suelo altamente corrosivos.

Nota: El grado de corrosividad del agua o del suelo de contacto puede determinarse conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM C-346.

Tabla 2. Espesores recomendables del recubrimiento de concreto, en función de las condiciones de corrosividad del medio de contacto con la estructura. (Ref. 2)

GRADO DE ATAQUE	CONTENIDO DE SULFATOS, $SO_4^{=}$		CEMENTO RECOMENDABLE	RELACION A/C máx. (a)
	SUELO (%)	AGUA (ppm)		
Benigno	0.00 - 0.10	0 - 150	---	---
Moderado	0.10 - 0.20	150 - 1500 ^(b)	Portland tipo II, portland-puzolana, o portland-escoria de alto horno (MS según ASTM C 595)	0.50
Severo	0.20 - 2.00	1500 - 10000	Portland tipo V	0.45
Muy severo	Más de 2.00	Más de 10000	Portland tipo V + puzolana ^(c)	0.45

Notas:

- (a) Puede ser necesario en ciertos casos utilizar una relación agua/cemento más baja, para prevenir la corrosión de elementos metálicos ahogados en el concreto.
- (b) El agua de mar también se encuentra en esta categoría.
- (c) Debe utilizarse una puzolana que haya demostrado su capacidad para mejorar la resistencia a los sulfatos del concreto hecho con cemento tipo V.

Tabla 1. Medidas recomendables para proteger al concreto contra el ataque de sulfatos con diverso grado de concentración en el medio de contacto. (Ref. 7)

Riesgo de corrosión en el acero de refuerzo. (+)	Agua/cemento máxima, por durabilidad.	Espesor del recubrimiento (mm)	
		Mínimo requerido	Especificable
(1) Bajo	0.55	40	50
(2) Mediano	0.45	50	60
(3) Alto	0.40	75	90

(+) Ejemplos de las condiciones de riesgo:

- (1) Bajo riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo no marino, o en contacto con agua o suelo no corrosivos.
- (2) Mediano riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto al ambiente húmedo marino, o inmerso total y continuamente en agua de mar, o en contacto con agua o suelo moderadamente corrosivos.
- (3) Alto riesgo. Concreto reforzado convencional expuesto a la acción del oleaje marino, y/o sujeto a periodos de humedecimiento y secado con agua de mar, o en contacto con agua o suelo altamente corrosivos.

Nota: El grado de corrosividad del agua o del suelo de contacto puede determinarse conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM C-346.

Tabla 2. Espesores recomendables del recubrimiento de concreto, en función de las condiciones de corrosividad del medio de contacto con la estructura. (Ref. 2)

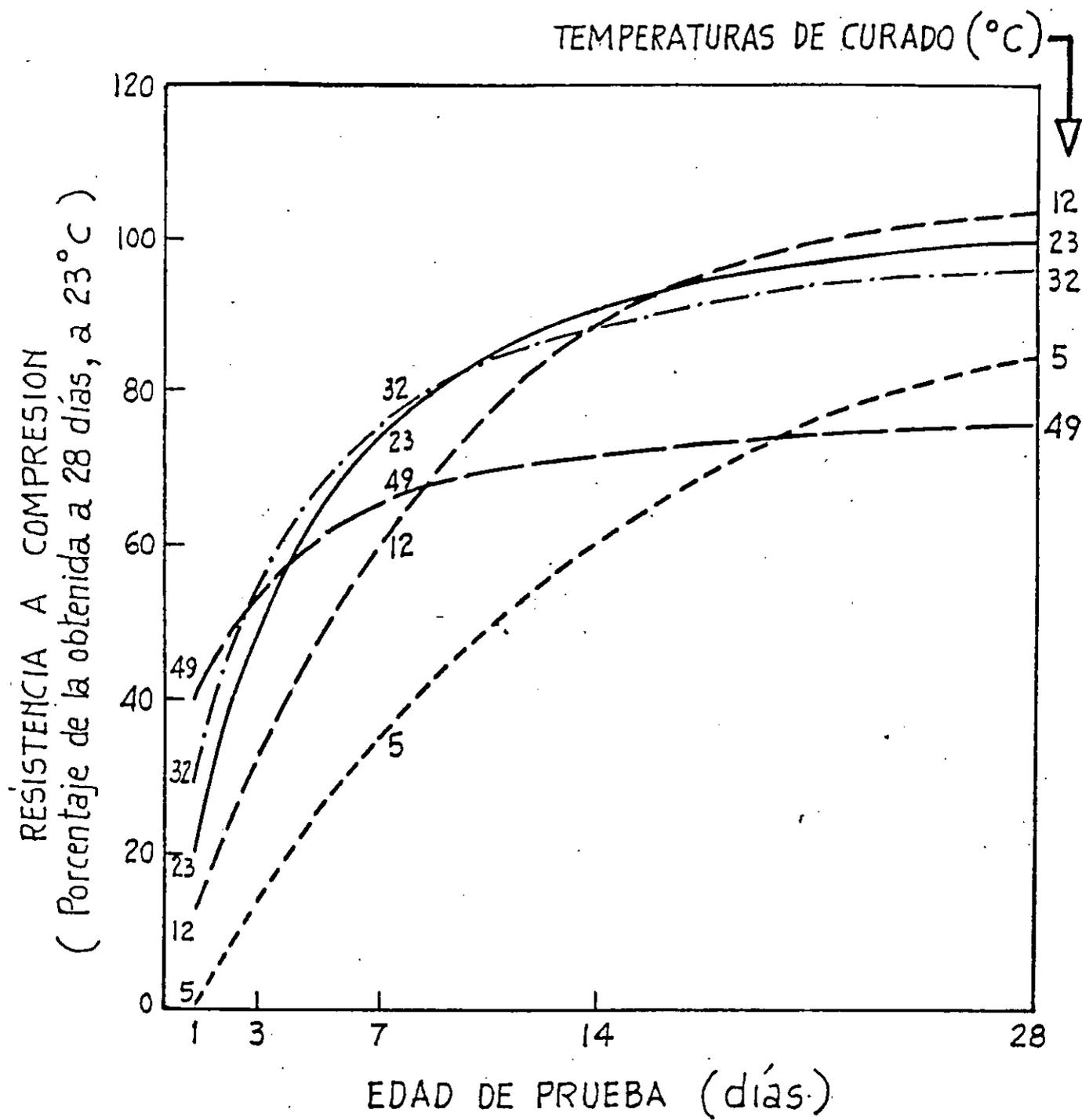


FIG. 1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE CURADO EN LA EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO CON LA EDAD. (Ref. 4)

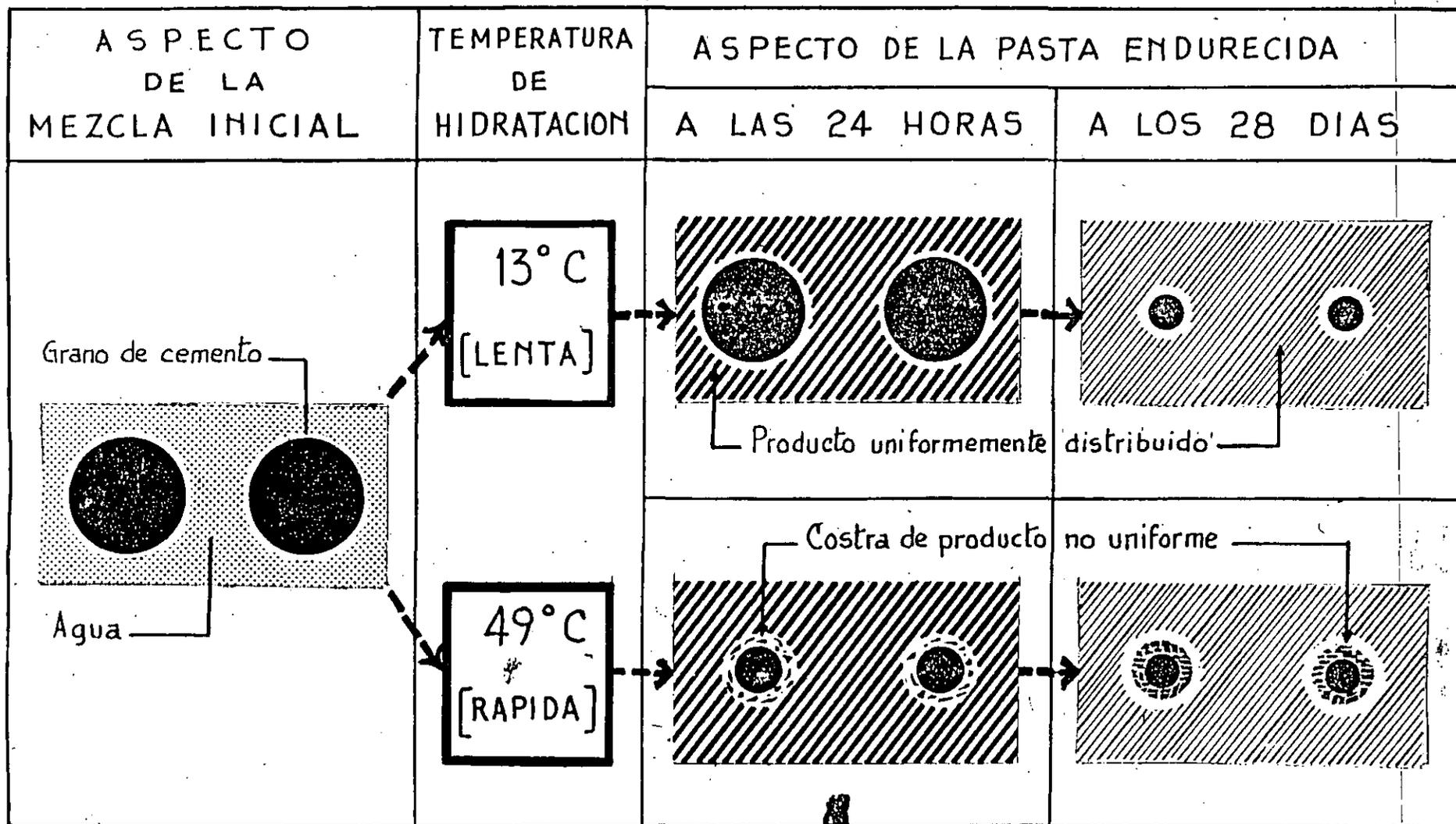


Fig 2. Efecto de la temperatura sobre la cantidad y distribución de los productos de hidratación en la pasta de cemento (*)

(*) Referencia: Verbeck, G. y Copeland, L.E. "Some physical and chemical aspects of high pressure steam curing". American Concrete Institute, Publication SP-32. Paper SP 32-1, Detroit, Mich. (1972)

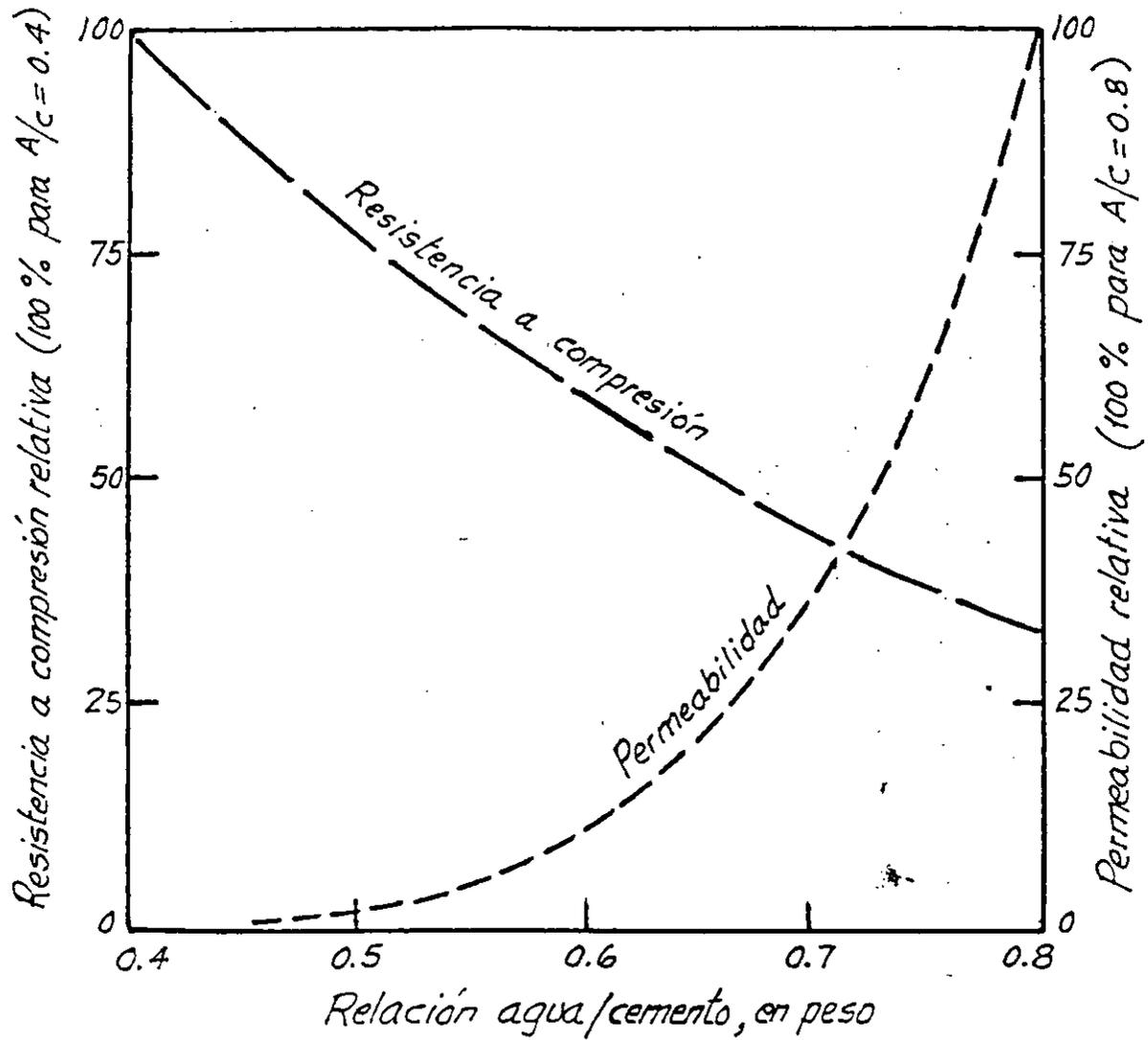


Fig 3. Variación de la resistencia a compresión y la permeabilidad del concreto, de acuerdo con su relación agua/cemento.

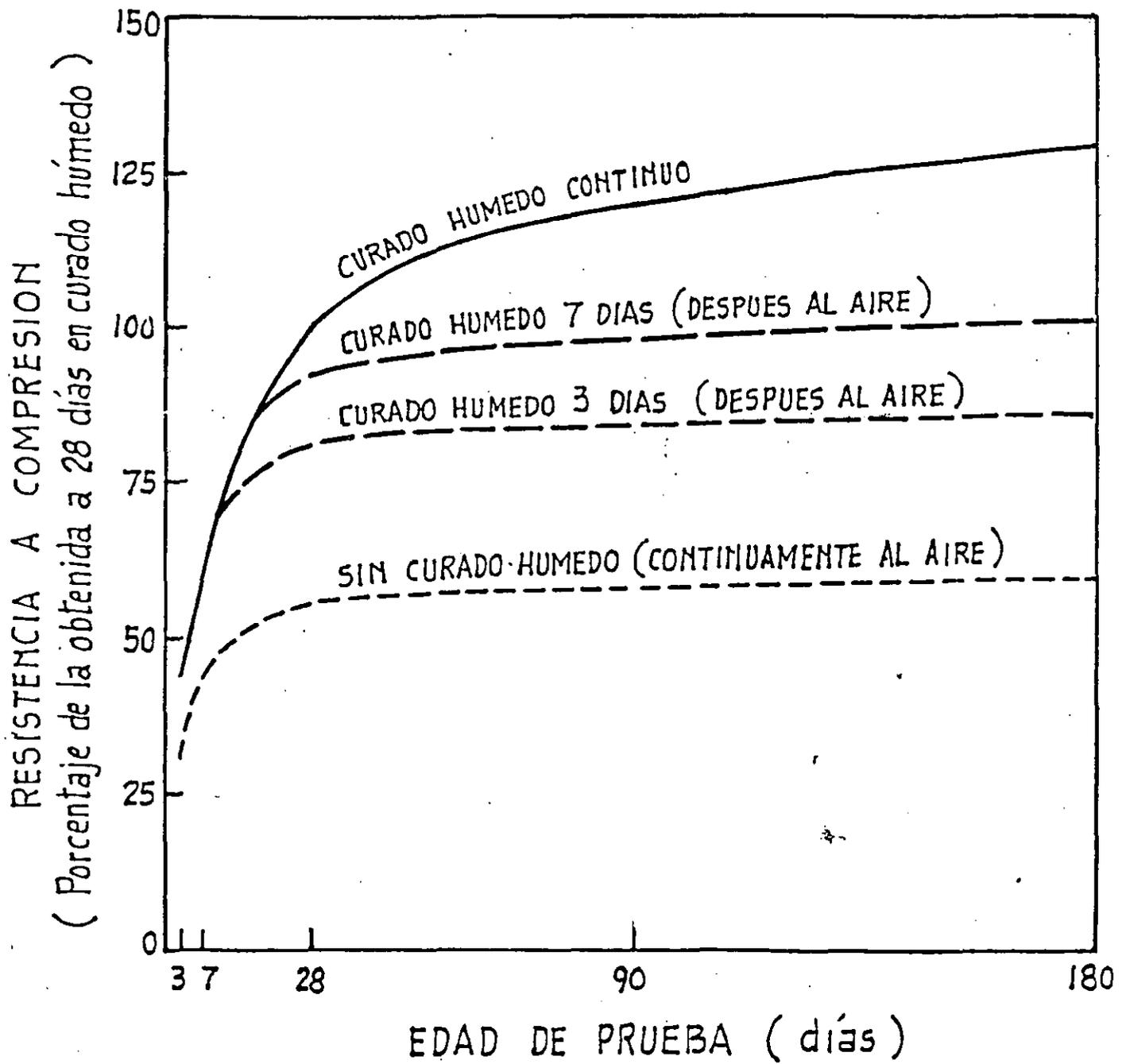


FIG. 5. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DE CURADO DEL CONCRETO EN SU ADQUISICION DE RESISTENCIA CON LA EDAD.

(Ref. 13)



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

EXPOSITOR: ING. CARLOS GOMEZ TOLEDO

**SECRETARIA DE COMERCIO
Y FOMENTO INDUSTRIAL**

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM – CC – 1 – 1990

**"SISTEMAS DE CALIDAD – VOCABULARIO"
"QUALITY SYSTEMS – VOCABULARY"**

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes Instituciones y empresas:

ADRIANS DE MEXICO
AMP DE MEXICO, S.A.
ASOCIACION MEXICANA DE MANTENIMIENTO, A.C.
BABCOCK AND WILCOX DE MEXICO
CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS
CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE PERFUMERIA Y COSMETICA
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA
COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO
CROUSE HINDS DOMEX
GRUPO INDUSTRIAL NACOBRE
INSTITUTO NACIONAL DE TUBERIAS PLASTICAS
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
SICARTSA
SQUARE - D DE MEXICO, S.A.
PETROLEOS MEXICANOS
REFRACTARIOS H.W. FLIR DE MEXICO
TELEFONOS DE MEXICO
TELEPROCESOS MEXICANOS
TELMAG, S.A. DE C.V.
VIDRIO PLANO DE MEXICO

INDICE

	PAGINA
PREFACIO _____	3
INTRODUCCION _____	7
1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION _____	7
2 TERMINOS Y DEFINICIONES _____	8
3 BIBLIOGRAFIA _____	11
4 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES _____	11
APENDICE A _____	12

"SISTEMAS DE CALIDAD – VOCABULARIO" "QUALITY SYSTEMS – VOCABULARY"

INTRODUCCION

La presente Norma Oficial Mexicana de vocabulario de calidad, se elaboró con el fin de establecer los términos y definiciones empleadas en el campo del aseguramiento de calidad.

Muchos de los términos y definiciones contenidas en esta publicación tienen significados específicos y aplicaciones más amplias que las definiciones genéricas encontradas en los diccionarios.

En consecuencia las definiciones contenidas en esta Norma Oficial Mexicana, tienen como finalidad facilitar la comunicación entre el personal involucrado con el aseguramiento de la calidad; así como facilitar la comprensión de los términos generales que se emplean en el campo del aseguramiento de calidad y de los términos usados específicamente en la Normativa Nacional de Sistemas de Calidad.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana proporciona los términos y definiciones fundamentales relativos a los conceptos de aseguramiento de calidad que se aplican a productos y/o servicios, para la elaboración y uso de Normas y Especificaciones de Aseguramiento de Calidad y para facilitar el entendimiento mutuo y comprensión de las mismas.

Los términos y definiciones establecidos en esta Norma tienen una aplicación directa en las normas siguientes:

- | | |
|--------------|--|
| NOM – CC – 2 | "Sistemas de Calidad – Gestión de Calidad. Guía para la selección y el uso de Normas de Aseguramiento de Calidad." |
| NOM – CC – 3 | "Sistemas de Calidad – Modelo para el Aseguramiento de la Calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio." |
| NOM – CC – 4 | "Sistemas de Calidad – Modelo para el Aseguramiento de la Calidad aplicable a la fabricación e instalación." |
| NOM – CC – 5 | "Sistemas de Calidad – Modelo para el Aseguramiento de la Calidad aplicable a la inspección y pruebas finales." |

NOM – CC – 6	"Sistemas de Calidad – Gestión de la Calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales."
NOM – CC – 7	"Sistemas de Calidad – Auditorías de calidad."
NOM – CC – 8	"Sistemas de Calidad – Calificación y certificación de auditores."

2 TERMINOS Y DEFINICIONES

En la presente Norma Oficial Mexicana, por producto o servicio se pueden entender:

- A) El resultado de actividades o procesos (productos materiales o tangibles; productos no materiales o intangibles, tales como un programa de computadora, un diseño, proyecto, un instructivo).
- B) Actividades o procesos (tales como la prestación de un servicio o la ejecución de un proceso de producción).

2.1 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 de calidad especificados.

2.2 AUDITOR

Es aquel individuo que ejecuta cualquier actividad dentro de una auditoría.

2.3 AUDITOR EN ENTRENAMIENTO

Es aquel individuo aspirante a obtener la calificación de auditor, el cual acompaña y auxilia al grupo auditor durante todas las etapas de una auditoría y recibe la orientación y entrenamiento adecuado para tal fin, mediante la coordinación y dirección de un auditor líder.

2.4 AUDITOR LIDER

Es aquel individuo calificado y certificado cuya experiencia y entrenamiento le permite organizar y dirigir una auditoría. Reportar deficiencias o desviaciones, así como evaluar y orientar acciones correctivas. En el caso de auditorías efectuadas por un grupo de auditoría, el auditor líder administra, supervisa y coordina a los miembros del grupo además de ser el responsable de la auditoría.

2.5 AUDITORIA DE CALIDAD

Examen sistemático e independiente para determinar si las actividades de calidad y sus resultados cumplen

con las disposiciones preestablecidas y si estas son implantadas eficazmente y son adecuadas para alcanzar los objetivos.

2.6 AUDITORIA EXTERNA

Es aquella que es efectuada en una organización, por un grupo ajeno a ésta.

2.7 AUDITORIA INTERNA

Es aquella auditoría que es efectuada dentro de la misma organización, bajo control directo de ésta.

2.8 CALIDAD

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

2.9 CICLO DE CALIDAD

Modelo conceptual de las actividades interdependientes que influyen sobre la calidad de un producto o servicio a lo largo de todas sus fases, desde la identificación de las necesidades del cliente, hasta la evaluación del grado de satisfacción de éstas.

2.10 CONTROL DE CALIDAD

Conjunto de métodos y actividades de carácter operativo, que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos.

2.11 DEFECTO

El no cumplimiento de los requisitos de uso propuestos o señalados. (Véase no conformidad).

2.12 DEONTOLOGIA

Doctrina que trata la moral de la práctica profesional.

2.13 ESPECIFICACION

Documento que establece los requisitos o exigencias que el producto o servicio debe cumplir.

2.14 FIABILIDAD

Capacidad de un producto, elemento o dispositivo para cumplir una función requerida bajo las condiciones dadas y para un periodo de tiempo establecido.

El término de fiabilidad también se utiliza como una característica de fiabilidad que designa una probabilidad de buen funcionamiento (éxito) o un porcentaje de éxitos.

2.15 GESTION DE CALIDAD

Función general de la gestión que determina e implanta la política de calidad que incluye la planeación estratégica. La asignación de recursos y otras acciones sistemáticas en el campo de la calidad, tales como la planeación de la calidad, desarrollo de las actividades operacionales y de evaluación relativas a la calidad.

2.16 GRADO/CLASE

Indicador de categoría o de rango referido a las propiedades o características de un producto o servicio, para cubrir diversas necesidades destinadas a un mismo uso funcional.

2.17 GRUPO AUDITOR

Es el conjunto de individuos que se integran para realizar una auditoría bajo la dirección de un auditor líder.

2.18 INSPECCION

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

2.19 NO CONFORMIDAD

El no cumplimiento de los requisitos establecidos. (Ver defecto).

2.20 POLITICA DE CALIDAD

Conjunto de directrices y objetivos generales de una empresa relativos a la calidad y que son formalmente expresados, establecidos y aprobados por la alta dirección.

2.21 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.

2.22 RASTREABILIDAD

Capacidad de reencontrar o reconstruir la historia, la aplicación o la localización de un elemento o de una actividad, de elementos o actividades similares, por medio de registros de identificación.

2.23 RESPONSABILIDAD LEGAL DE LA CALIDAD DE UN PRODUCTO Y/O SERVICIO

Término genérico usado para describir la responsabilidad y obligación de una organización (o de otros). Para efectuar una reparación o restitución por pérdidas debidas a lesiones personales, daños materiales o cualquier otro daño causado por un producto o servicio.

2.24 REVISION DEL DISEÑO/PROYECTO

Es el examen formal, documentado, completo y sistemático de un diseño, con el fin de evaluar los requisitos iniciales del diseño y la capacidad del mismo para alcanzar estos requisitos, identificar problemas y proponer soluciones.

2.25 REVISION DEL SISTEMA DE CALIDAD

Evaluación formal efectuada por la alta dirección de una organización del estado y la adecuación del sistema de calidad en relación a la política de calidad y a los nuevos objetivos resultado del cambio y evolución de las circunstancias.

2.26 SISTEMA DE CALIDAD

Estructura organizacional, conjunto de recursos, responsabilidades y procedimientos establecidos para asegurar que los productos, procesos o servicios cumplan satisfactoriamente con el fin a que están destinados y que están dirigidos hacia la gestión de la calidad.

2.27 VIGILANCIA DE LA CALIDAD/SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD

Verificación y seguimiento permanente del estado de los procedimientos, los métodos, las condiciones de ejecución, los procesos, los productos y servicios, así como el análisis de los registros en relación a las referencias establecidas con el fin de asegurar que se cumplan los requisitos de calidad especificados.

3 BIBLIOGRAFIA

ISO – 8402 QUALITY – VOCABULARY.

4 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta Norma es básicamente equivalente con la Norma Internacional ISO – 8402 QUALITY – VOCABULARY.

APENDICE A

CORRESPONDENCIA DE TERMINOS EN ESPAÑOL CON TERMINOS EN INGLES

TERMINO EN ESPAÑOL	NOM CC - 1	TERMINO EN INGLES	ISO 8402
Aseguramiento de calidad	2.1	Quality assurance	3.6
Auditor	2.2	auditor	(1)
Auditor en entrenamiento	2.3	Training auditor	(1)
Auditor líder	2.4	Lead auditor	(1)
Auditoría de calidad	2.5	Quality audit	3.10
Auditoría externa	2.6	External audit	(1)
Auditoría interna	2.7	Internal audit	(1)
Calidad	2.8	Quality	3.1
Ciclo de calidad	2.9	Quality loop/quality spiral	3.3
Control de calidad	2.10	Quality control	3.7
Defecto	2.11	Defect	3.21
Deontología	2.12	Deontology	(1)
Especificación	2.13	Specification	3.22
Fiabilidad	2.14	Reliability	3.18
Gestión de calidad	2.15	Quality management	3.5
Grado/clase	2.16	Grade	3.2
Grupo auditor	2.17	Audit team	(1)
Inspección	2.18	Inspection	3.14
No conformidad	2.19	Nonconformity	3.20
Plan de calidad	2.20	Quality plan	3.9
Política de calidad	2.21	Quality policy	3.4
Rastreabilidad	2.22	Traceability	3.15
Responsabilidad de la calidad de un producto y/o servicio	2.23	Product liability/ service liability	3.19
Revisión del diseño/proyecto	2.24	Design review	3.13
Revisión del sistema de calidad	2.25	Quality system review	3.12
Sistema de calidad	2.26	Quality system	3.8
Vigilancia de la calidad /seguimiento de la calidad	2.27	Quality surveillance	3.11

México, D.F. a 3 de diciembre de 1990.

**SECRETARIA DE COMERCIO
Y FOMENTO INDUSTRIAL**

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM - CC - 2 - 1990

**"SISTEMAS DE CALIDAD - GESTION DE CALIDAD.
GUIA PARA LA SELECCION Y EL USO DE NORMAS DE
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD".**

**"QUALITY SYSTEMS - QUALITY MANAGEMENT.
GUIDE FOR SELECTION AND USE OF QUALITY
ASSURANCE STANDARDS".**

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana, participaron las siguientes empresas:

ADRIANS DE MEXICO

ASOCIACION MEXICANA DE MANTENIMIENTO, A.C.

BABCOCK AND WILCOX DE MEXICO

CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE PERFUMERIA Y COSMETICA

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION

COMITE CONSULTIVO DE NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

CROUSE HINDS DOMEX

GRUPO CONDUMEX

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

PETROLEOS MEXICANOS

TELEFONOS DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (ENEP - ACATLAN)

UNIVERSIDAD LA SALLE

VIDRIO PLANO DE MEXICO

INDICE

	PAGINA
PREFACIO _____	3
INTRODUCCION _____	7
1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION _____	7
2 REFERENCIAS _____	8
3 DEFINICIONES _____	8
4 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CALIDAD _____	9
5 TIPOS DE NORMAS EN SISTEMAS DE CALIDAD _____	10
6 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA GESTION DE LA CALIDAD _____	10
7 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA PROPOSITOS CONTRACTUALES _____	11
8 BIBLIOGRAFIA _____	14
9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES _____	16

**"SISTEMAS DE CALIDAD – GESTION DE CALIDAD.
GUIA PARA LA SELECCION Y EL USO DE NORMAS DE
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD".**

**"QUALITY SYSTEMS – QUALITY MANAGEMENT.
GUIDE FOR SELECTION AND USE OF QUALITY
ASSURANCE STANDARDS".**

INTRODUCCION

Un factor primordial en la operación de una empresa, es la calidad de sus productos y/o servicios. Además, en los últimos años existe una orientación mundial por parte de los clientes, hacia mayor exigencia de los requisitos y expectativas con respecto a la calidad. Conjuntamente con esta orientación hay una creciente comprensión y toma de conciencia de que el mejoramiento continuo en la calidad, es necesario para alcanzar y sostener un buen desarrollo económico.

Las organizaciones industriales, comerciales o gubernamentales, proveen productos o servicios que pretenden satisfacer las necesidades o requisitos del usuario. Tales requisitos son muchas veces presentados como "especificaciones"; sin embargo, las especificaciones técnicas no pueden por sí mismas garantizar que los requisitos del usuario fueron alcanzados consistentemente, si se presentan desviaciones, deficiencias en las especificaciones o en el mismo sistema de organización, establecido para la obtención del producto y/o prestar el servicio. Consecuentemente, esto ha conducido al desarrollo de normas de sistemas de calidad que complementen los requisitos del producto o servicio dados en las especificaciones técnicas.

La serie de normas (NOM - CC - 1 a NOM - CC - 8) y otras que sobre este tema se emitan posteriormente por la DGN, pretenden establecer una racionalización de los numerosos y variados enfoques en este campo.

El sistema de calidad de una empresa, está influenciado por los objetivos de la organización, por el tipo de producto o servicio, por las prácticas específicas de la organización y por lo tanto, estos sistemas de calidad varían de una empresa a otra.

Esta serie de normas no tiene como fin establecer un sistema normalizado de la calidad para su implantación en una determinada empresa. Es decir, cada organización usuaria debe establecer sus requisitos específicos sobre sistemas de calidad, de acuerdo con las normas aplicables.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana cubre los objetivos principales siguientes:

- A) Establecer claramente las diferencias e interrelaciones entre los principales conceptos de calidad.
- B) Proporcionar la guía para la selección y uso de las normas de sistemas de calidad que pueden ser

empleadas para propósitos de la gestión interna de calidad (NOM – CC – 6) y para propósitos externos de aseguramiento de calidad (NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 y NOM – CC – 5).

2 REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

NOM – CC – 1	Sistemas de Calidad – Vocabulario.
NOM – CC – 3	Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la Calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio.
NOM – CC – 4	Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la fabricación e instalación.
NOM – CC – 5	Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable a la inspección y pruebas finales.
NOM – CC – 6	Sistemas de Calidad – Gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales.
NOM – CC – 7	Sistemas de Calidad – Auditorías de calidad.
NOM – CC – 8	Sistemas de Calidad – Calificación y certificación de auditores.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma, son aplicables las definiciones dadas por la NOM – CC – 1 "Sistemas de Calidad – Vocabulario". Por su importancia y para el uso apropiado de la presente norma, han sido tomadas cinco definiciones de la norma NOM – CC – 1.

3.1 POLITICA DE CALIDAD

Conjunto de directrices y objetivos generales de una empresa, relativos a la calidad y que son formalmente expresados, establecidos y aprobados por la alta dirección.

3.2 GESTION DE CALIDAD

Función general de dirección que determina e implanta la política de calidad e incluye la planeación

estratégica, la asignación de recursos y otras acciones sistemáticas en el campo de la calidad, tales como planeación de la calidad, desarrollo de actividades operacionales y de evaluación relativas a la calidad.

3.3 SISTEMA DE CALIDAD

Estructura organizacional, conjunto de recursos, responsabilidades y procedimientos para asegurar que los productos, procesos o servicios, cumplan satisfactoriamente con el fin al que están destinados y que están dirigidos hacia la gestión de la calidad.

3.4 CONTROL DE CALIDAD

Conjunto de métodos y actividades de carácter operativo, que se utilizan para satisfacer el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos (inspección, pruebas y ensayos).

3.5 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 de calidad especificados.

NOTAS.

- 1) El aseguramiento de calidad no está completo si los requisitos preestablecidos de calidad, no reflejan totalmente los requisitos del usuario.
- 2) Para que el aseguramiento de calidad sea efectivo, generalmente se exige la evaluación permanente de los factores que influyen en la adecuación del diseño y las especificaciones, a las condiciones técnicas bajo las que se va a emplear el producto o servicio, así como la verificación y auditorías de las áreas de proceso, producción, montaje e inspección. Probar la confianza puede significar presentar evidencias objetivas.
- 3) En una empresa, el aseguramiento de la calidad representa una herramienta de dirección. En el cierre de un contrato, el aseguramiento de la calidad crea una atmósfera de confianza en el proveedor.

4 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CALIDAD

Una empresa debe estar orientada a cumplir, entre otros, los siguientes objetivos con respecto a la calidad:

- A) Alcanzar y sostener la calidad real del producto o servicio producido, de tal manera que se satisfagan continuamente las necesidades explícitas del cliente.
- B) Proporcionar la confianza a su misma dirección, de que la calidad propuesta está siendo alcanzada y es mantenida.

- C) Proporcionar la confianza al cliente de que la calidad propuesta es cumplida en el producto entregado, proporcionando cuando el contrato lo requiera, la demostración de concordancia con los requisitos.

La relación de los conceptos y las definiciones citadas en la Sección 3, se presentan en el Apéndice A "Correspondencia entre los elementos de un sistema de Calidad". Este apéndice no debe ser interpretado como un modelo rígido.

La serie de Normas Oficiales Mexicanas sobre sistemas de calidad, se proponen para ser utilizadas en: Situaciones contractuales y situaciones no contractuales.

En ambas situaciones, la organización del fabricante debe establecer y mantener un sistema de calidad que refuerce por sí mismo su competitividad y alcance los requisitos de calidad de sus productos en forma rentable.

En adición, en la situación contractual, el cliente está interesado en ciertos elementos del sistema de calidad del proveedor, los cuales afectan la capacidad del fabricante para producir consistentemente un producto o servicio que se ajuste a sus requisitos y que minimice los riesgos que pueden derivarse de su uso. Por lo tanto, el cliente requiere que contractualmente ciertos elementos del sistema de calidad, sean parte del sistema de calidad del proveedor.

Un proveedor a menudo está involucrado en situaciones de ambos tipos. El proveedor puede comprar algunos componentes o materiales por lote o inventario, sin requisitos contractuales de aseguramiento de calidad. El mismo proveedor puede vender algunos productos apegándose a requisitos contractuales de aseguramiento de calidad y otros sin el cumplimiento de éstos.

5 TIPOS DE NORMAS EN SISTEMAS DE CALIDAD

Como se indica en el Capítulo 1, existen dos tipos de normas, las cuales incluyen las necesidades para las situaciones señaladas en el Capítulo 5, y son presentadas como una serie de normas de sistemas de calidad.

- A) NOM – CC – 2 Y NOM – CC – 6 proporcionan las directrices generales a todas las empresas, para propósitos de la gestión de calidad.
- B) NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 Y NOM – CC – 5 se aplican para fines externos de aseguramiento de calidad en situaciones contractuales.

6 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA GESTION DE LA CALIDAD

Antes de desarrollar e implantar un sistema de calidad, se debe consultar la presente norma para adquirir un conocimiento amplio de los conceptos generales y después según lo indicado en la NOM – CC – 6, determinar la extensión con la que debe aplicarse cada elemento del sistema de calidad.

La NOM-CC-6 proporciona las directrices generales sobre los factores técnicos, administrativos y humanos que afectan la calidad y la detección de las necesidades para satisfacer al cliente. La NOM-CC-6 enfatiza especialmente en la satisfacción de las necesidades del cliente, el establecimiento de las responsabilidades funcionales y la importancia de evaluar (tan amplio como sea posible), los riesgos y beneficios potenciales. Todos estos aspectos deben ser considerados en el establecimiento y mantenimiento de un sistema de calidad efectivo.

7 USO DE LAS NORMAS DE SISTEMAS DE CALIDAD PARA PROPOSITOS CONTRACTUALES

7.1 GENERALIDADES

Cuando el cliente no tenga establecidos sus requisitos para sistemas de calidad congruentes con las normas NOM-CC-2, el cliente y/o el proveedor, para satisfacer sus requisitos específicos, debe referirse a NOM-CC-3, NOM-CC-4 Y NOM-CC-5 con el fin de determinar cuál de estas normas es la más apropiada al contrato y qué adaptaciones específicas se requieren.

La selección y la aplicación de un modelo de aseguramiento de calidad apropiado para una situación determinada, debe proporcionar beneficios mutuos, tanto al cliente como al proveedor. Examinando los riesgos, costos y beneficios para ambas partes, se determina la extensión y naturaleza de la información y la confianza adecuada de que la calidad propuesta es alcanzada.

7.2 SELECCION DEL MODELO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

7.2.1 GENERALIDADES

Como se indica en la introducción de cada una de estas normas, ciertos elementos de calidad, están agrupados en tres modelos diferentes, basados en "la capacidad funcional y organizacional", requeridas de un proveedor de productos o servicios.

- A) NOM-CC-3. Para emplearse cuando la conformidad con los requisitos especificados es asegurada por el proveedor durante diversas etapas, los cuales incluyen proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio.
- B) NOM-CC-4. Para emplearse cuando la conformidad con los requisitos especificados es asegurada por el proveedor durante la fabricación y la instalación.
- C) NOM-CC-5. Para emplearse cuando la conformidad con los requisitos especificados es asegurada por el proveedor solamente en la inspección y pruebas finales.

El cliente al establecer sus requisitos sobre sistemas de calidad, puede adoptar completamente las normas NOM-CC-3, NOM-CC-4 o NOM-CC-5. O bien, de acuerdo con sus propias necesidades, sus requisitos se pueden establecer combinando las normas mencionadas.

- 2) La complejidad y la innovación requeridas para diseñar el producto o servicio.
- 3) La complejidad y la dificultad de fabricación del producto o de la presentación del servicio.
- 4) La capacidad para juzgar la calidad y aptitud para el uso de un producto sobre la base de efectuar solo la inspección y prueba final del producto.
- 5) Los requisitos de seguridad aplicables al producto o servicio.
- 6) Evidencias históricas del desempeño del proveedor, con respecto a los productos o servicios suministrados.

La documentación puede incluir manuales de aseguramiento de calidad, manual de procedimientos de calidad, informes de calidad relacionados con los procedimientos, reportes de auditorías del sistema de calidad y otros registros de calidad.

7.4 EVALUACION PREVIA AL CONTRATO

Las evaluaciones del sistema de calidad del proveedor, son empleadas antes del contrato para determinar la capacidad de un proveedor, para satisfacer los requisitos de una de las normas NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 o NOM – CC – 5 y cuando sea conveniente, los requisitos suplementarios. En muchos casos, las evaluaciones son sujetas directamente por el cliente y/o su representante autorizado.

Por acuerdo entre el cliente y el proveedor, la evaluación previa al contrato, puede ser delegada, a una organización reconocida por la DGN., e independiente de ambas partes. El número y extensión de las evaluaciones pueden ser reducidas por medio del empleo de las normas NOM – CC – 3, NOM – CC – 4 o NOM – CC – 5 y por el reconocimiento de evaluaciones anteriores efectuadas de acuerdo a estas normas, por el comprador a través de su área de aseguramiento de calidad, o por una organización independiente reconocida por la DGN.

7.5 ASPECTOS DE PREPARACION DEL CONTRATO

7.5.1 Adecuación

La experiencia ha mostrado que con un pequeño número de normas disponibles, una de éstas puede ser seleccionada para que se cumplan adecuadamente las necesidades de casi cualquier situación. Sin embargo, en ocasiones, ciertos elementos del sistema de calidad mencionados en una norma, podrán ser adecuados a las necesidades particulares y en otras ocasiones, algunos elementos específicos podrán ser eliminados y/o adicionados. Si esto resultase necesario, deberá ser acordado entre el cliente y el proveedor, debiéndose especificar en el contrato.

7.5.2 Revisión de elementos contractuales

Ambas partes deberán revisar el contrato propuesto para asegurarse de que se han entendido los requisitos del sistema de calidad y que éstos son mutuamente aceptados, considerando los factores e implicaciones económicas y los riesgos que cada parte debe asumir.

7.5.3 Requisitos suplementarios

Entre otros, puede ser necesario añadir requisitos suplementarios en el contrato, tales como planes o programas de calidad, planes de auditoría de calidad.

7.2.2 PROCEDIMIENTO DE SELECCION

El modelo debe ser seleccionado por la consideración y análisis sistemático de los factores descritos en 7.2.3 con la debida atención al factor económico.

7.2.3 FACTORES DE SELECCION

- A) Complejidad del proceso del proyecto/diseño. Este factor trata de la dificultad o complejidad del proyecto/diseño del producto o servicio y si tal producto o servicio no ha sido diseñado.
- B) Madurez del diseño. (Grado de desarrollo/experimentación del proyecto/diseño). Este factor trata de la extensión en que el diseño completo es conocido y probado, ya sea por pruebas de funcionalidad o por experiencia de uso en campo.
- C) Complejidad de proceso – producción. Este factor trata de la disponibilidad de un proceso de producción comprobada la necesidad del desarrollo de nuevos procesos, el número y variedad de procesos implicados y el impacto del proceso o procesos en la operación del producto o servicio.
- D) Características del producto o servicio. Este factor toma en cuenta la complejidad propia del producto o servicio, el número de características interrelacionadas y la influencia crítica de cada una de estas características para el funcionamiento.
- E) Seguridad del producto o servicio. Este factor trata del riesgo y probabilidad de que ocurran fallas y las consecuencias de éstas.
- F) Económica. Este factor está relacionado con los costos económicos de los factores anteriores y que afectan tanto al proveedor como al cliente. Se deben valorar comparándolos contra los costos debidos a las no conformidades del producto o servicio.

7.3 DOCUMENTACION Y EVIDENCIAS

Los elementos del sistema de calidad, deben ser documentados y comprobarse de manera consistente con los requisitos del modelo seleccionado.

La comprobación o presentación de evidencias de los elementos del sistema de calidad se refiere a:

- A) La adecuación del sistema de calidad (por ejemplo: el diseño, la fabricación, la instalación y el servicio).
- B) La capacidad para alcanzar la conformidad del producto o servicio con los requisitos establecidos.

La naturaleza y el grado de la comprobación puede variar de una situación a otra, de acuerdo con criterios tales como:

- 1) Las consideraciones económicas, uso y condiciones de uso del producto o servicio.

7.5.4 Requisitos técnicos

Los requisitos técnicos del producto o servicio, son definidos en las especificaciones técnicas del contrato.

8 BIBLIOGRAFIA

ISO - 9000 - 87 "Quality management and quality assurance standards. Guidelines for selection and use".

TABLA A.1 CORRESPONDENCIA ENTRE ELEMENTOS

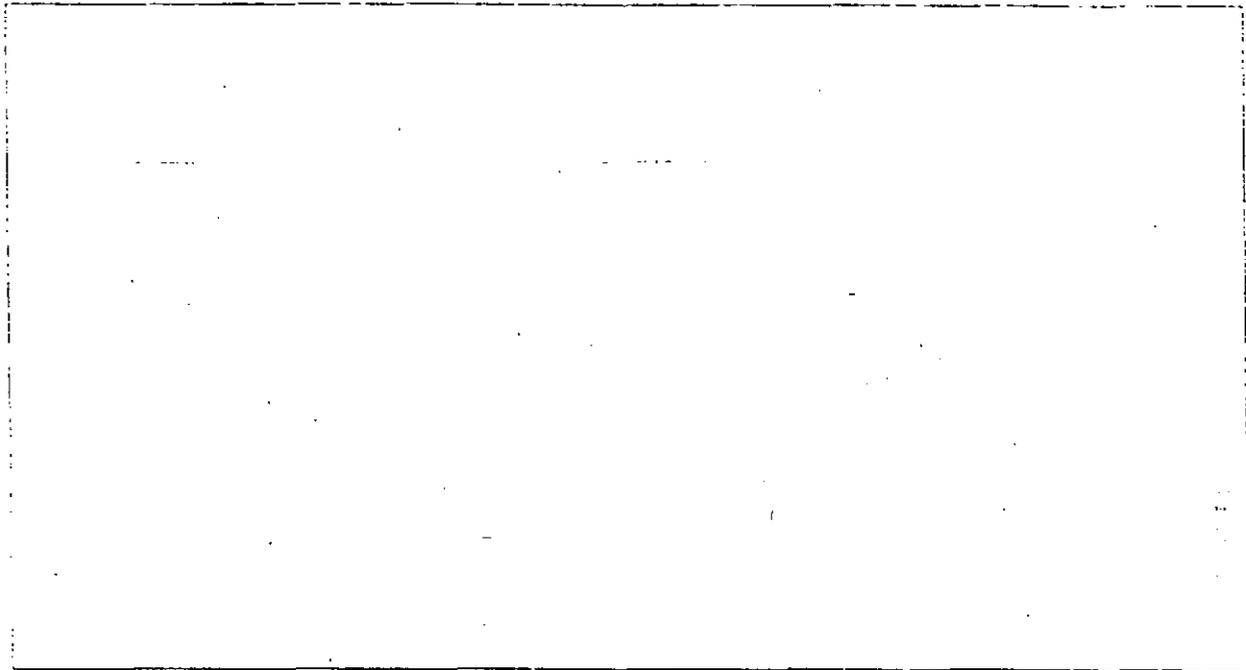
	CAPITULO DE NOM - CC - 6	CAPITULOS CORRESPONDIENTES		
		NOM - CC - 3	NOM - CC - 4	NOM - CC - 5
4	RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION	5.1 ●	5.1°	5.1□
5	PRINCIPIOS DEL SISTEMA DE CALIDAD	5.2 ●	5.2 ●	5.2°
5.4	AUDITORIAS INTERNAS DEL SISTEMA DE CALIDAD	5.18 ●	5.17 ●	X
7	CALIDAD EN RELACION CON EL MERCADO (REVISION DEL CONTRATO)	5.3 ●	5.3 ●	5.3 ●
8	CALIDAD EN ESPECIFICACION Y DISEÑO (CONTROL DEL PROYECTO Y/O DISEÑO)	5.4 ●	X	X
9	CALIDAD EN ADQUISICIONES (CONTROL DE LAS ADQUISICIONES)	5.6 ●	5.5 ●	X
10	CALIDAD EN LA PRODUCCION (CONTROL DEL PROCESO)	5.9 ●	5.8 ●	X
11	CONTROL DE LA PRODUCCION (CONTROL DEL PROCESO)	5.9 ●	5.8 ●	X
11.2	CONTROL Y RASTREABILIDAD DE LOS COMPONENTES (IDENTIFICACION Y RASTREABILIDAD DEL PRODUCTO)	5.8 ●	5.7 ●	5.5°
11.7	CONTROL DEL ESTADO DE LA VERIFICACION (ESTADO DE INSPECCION Y PRUEBA)	5.13 ●	5.12 ●	5.8°
12	VERIFICACION DEL PRODUCTO (INSPECCION Y ENSAYO)	5.11 ●	5.10 ●	5.6°
13	CONTROL DE EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBA (EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBA)	5.12 ●	5.11 ●	5.7°

14	NO CONFORMIDADES (CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME)	5.14 ●	5.13 ●	5.9°
15	ACCIONES CORRECTIVAS	5.15 ●	5.14 ●	X
16	MANEJO Y FUNCIONES POSTERIORES A LA PRODUCCION (MANEJO ALMACENAMIENTO, EMBARQUE Y ENTREGA)	5.12 ●	5.15 [□]	5.10 [□]
CAPITULOS CORRESPONDIENTES				
	CAPITULO DE NOM - CC - 6	NOM - CC - 3	NOM - CC - 4	NOM - CC - 5
16.2	SERVICIO POSTERIOR A LA VENTA	5.20 ●	X	X
17	DOCUMENTACION Y REGISTROS SOBRE LA CALIDAD (CONTROL DE LA DOCUMENTACION)	5.5 ●	5.4 ●	5.4°
17.3	REGISTROS DE CALIDAD	5.17 ●	5.16 ●	5.11°
18	PERSONAL (CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO)	5.19 ●	5.18°	5.12 [□]
19	SEGURIDAD Y RESPONSABILIDAD LEGAL DERIVADA DEL PRODUCTO	X	X	X
20	USO DE METODOS ESTADISTICOS (TECNICAS ESTADISTICAS)	5.21 ●	5.19 ●	5.13°
-	PRODUCTOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE	5.7 ●	5.6 ●	X
6	CONSIDERACIONES SOBRE LOS COSTOS DE CALIDAD	X	X	X

SIMBOLOGIA

- REQUISITO COMPLETO
- ° REQUISITO MENOS EXIGENTE QUE NOM - CC - 3
- REQUISITO MENOS EXIGENTE QUE NOM - CC - 4
- X ELEMENTO NO EXISTENTE

APENDICE A
CORRESPONDENCIA ENTRE ELEMENTOS DE
UN SISTEMA DE CALIDAD



NOTAS:

1. Los elementos que comprenden un sistema de calidad son listados en la tabla A.1.
2. Las actividades orientadas a proporcionar al comprador y a la dirección de una empresa la confianza de que la calidad propuesta ha sido alcanzada, son a menudo llamadas "Aseguramiento de Calidad Interno".
3. Las actividades orientadas a proporcionar al comprador la confianza de que un proveedor o fabricante de un producto o servicio, pueda satisfacer los requisitos establecidos por el comprador, son llamadas a menudo "Aseguramiento de calidad Externo".

9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta Norma concuerda básicamente, con la Norma ISO-9000-87 "Quality Management and Quality Assurance Standards. Guidelines for Selection and Use", incluida en la bibliografía.

México, D.F. a 3 de diciembre de 1990

El Director General de Normas.

**SECRETARIA DE COMERCIO
Y FOMENTO INDUSTRIAL**

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM – CC – 5 – 1990

**"SISTEMA DE CALIDAD – MODELO PARA EL
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD APLICABLE
A LA INSPECCION Y PRUEBAS FINALES".**

**"QUALITY SYSTEMS – MODEL FOR QUALITY
ASSURANCE IN FINAL INSPECTION AND TEST".**

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana, participaron las siguientes instituciones y empresas:

ADRIANS DE MEXICO

ASOCIACION MEXICANA DE MANTENIMIENTO, A.C.

BABCOCK AND WILCOX DE MEXICO

CAMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELECTRICAS

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE PERFUMERIA Y COSMETICA

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA

COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

CROUSE HINDS DOMEX

GRUPO CONDUMEX

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

PETROLEOS MEXICANOS

TELEFONOS DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (ENEP - ACATLAN)

UNIVERSIDAD LA SALLE

VIDRIO PLANO DE MEXICO

INDICE

pag

	PREFACIO _____	3
	INTRODUCCION _____	7
1	OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION _____	7
2	REFERENCIAS _____	8
3	DEFINICIONES _____	9
4	RESPONSABILIDADES _____	9
5	REQUISITOS DEL SISTEMA DE CALIDAD _____	11
6	BIBLIOGRAFIA _____	18
7	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES _____	18

INTRODUCCION

El propósito de la presente Norma es el de orientar la integración de los elementos que conforman el sistema de aseguramiento de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de asegurar la conformidad de los productos y/o servicios, mediante la inspección y pruebas de aceptación.

Esta Norma forma parte de un conjunto de tres normas referidas a los sistemas a utilizarse para el aseguramiento de calidad. Los modelos descritos en las tres normas representan modelos distintos de capacidad funcional y organizativa que pueden ser utilizadas para regular las relaciones contractuales entre las partes (proveedor y cliente), así como para la evaluación de dichos sistemas. Las dos normas restantes se citan a continuación:

NOM – CC – 3 "Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad aplicable al proyecto/diseño, la fabricación, la instalación y el servicio".

NOM – CC – 4 "Sistemas de Calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad, aplicable a la fabricación e instalación".

Es preciso destacar que los requisitos del sistema de calidad de esta Norma y los de las normas NOM – CC – 3, y NOM – CC – 4 son complementarios, no constituyen una alternativa de los requisitos específicos del producto y/o servicio a que se refiere.

Aunque se pretende que esta Norma sea aplicable directamente, puede darse el caso de que, sea necesario establecer condiciones especiales para adecuar el sistema a una situación contractual específica. La norma NOM – CC – 2, facilita una guía para el establecimiento de las mencionadas condiciones especiales, así como para seleccionar el modelo más adecuado entre los establecidos en las normas NOM – CC – 3, NOM – CC – 4, y NOM – CC – 5.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 OBJETIVO

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de aseguramiento

de calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de inspeccionar y efectuar las pruebas finales de aceptación correspondientes al producto.

Los requisitos establecidos en esta Norma, tienen el objetivo de evitar desviaciones en las etapas de investigación y pruebas finales. en el caso de productos no conformes se busca su detección, identificación y segregación. Esta Norma se sustenta en los conceptos de aseguramiento de calidad.

1.2 CAMPO DE APLICACION

Esta Norma se aplica cuando:

- A) Los requisitos del producto y/o servicio ya se encuentran establecidos por referencia a un proyecto de diseño o una especificación y consecuentemente, el proveedor se responsabiliza de la gestión de la calidad en las etapas de inspección y pruebas finales correspondientes.
- B) La conformidad de los productos puede ponerse de manifiesto con suficiente confianza si el proveedor demuestra, en forma fehaciente, su aptitud para inspeccionar y efectuar las pruebas finales correspondientes.
- C) La guía para evaluar la aplicación de la presente Norma es la norma NOM – CC – 7 parte 3. sistemas de calidad: guía cuestionario para la aplicación de la norma NOM – CC – 5.

2 REFERENCIAS

NOM – CC – 1

Para la correcta aplicación de esta Norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

"Sistemas de calidad – vocabulario"

NOM – CC – 2

"Sistemas de calidad – gestión de calidad. Guía para la selección y el uso de normas de aseguramiento de calidad."

NOM – CC – 6

"Sistemas de calidad – gestión de la calidad y elementos de un sistema de calidad. Directrices generales."

NOM – CC – 7

"Sistemas de calidad – auditorías de calidad."

NOM – CC – 8

"Sistemas de calidad – calificación y certificación de auditores."

3 DEFINICIONES

Para el uso de esta Norma, son aplicables la terminología y las definiciones contenidas en la norma NOM-CC-1.

NOTA: El término "contrato" debe entenderse en su sentido más amplio, como un acuerdo entre las partes.

4 RESPONSABILIDADES

4.1 RESPONSABILIDADES DEL CLIENTE

Las responsabilidades del cliente son las de evaluar y seleccionar a sus proveedores, fundamentándose en la capacidad de éstos para cumplir con los requisitos siguientes:

4.1.1 UNA EVALUACION DE:

- A) Manual de aseguramiento de calidad.
- B) Implantación del programa de aseguramiento de calidad.
- C) Planes de inspección y prueba.
- D) Otros medios y recursos de fabricación o proceso requeridos.

4.1.2 ESPECIFICAR EN EL CONCURSO, REQUISICION O PEDIDO Y EL CONTRATO:

- A) El alcance de los requisitos del trabajo.
- B) La norma y especificaciones sobre el sistema de aseguramiento de calidad que el proveedor debe cumplir para satisfacer los requisitos al respecto.
- C) La rastreabilidad deseada.
- D) La norma del programa de aseguramiento de calidad aplicada a los productos o servicios requeridos por el cliente.
- E) Las disposiciones legales que se aplican a los productos o servicios objeto del contrato.
- F) La documentación que será entregada al cliente y la retenida por el proveedor, así como el periodo de tiempo de conservación de estos documentos.

4.1.3 Efectuar auditorías de producto y/o de sistema, de acuerdo a procedimientos establecidos para comprobar que el proveedor trabaja conforme a lo establecido (ver NOM – CC – 8).

4.1.4 Evaluar el sistema de aseguramiento de calidad en función de los productos que normalmente fabrica, tomando en consideración las características del producto solicitado.

4.1.5 Convenir con el proveedor las normas y especificaciones requeridas para el producto al formalizar el contrato y antes del inicio de los trabajos.

4.2 RESPONSABILIDADES DEL PROVEEDOR.

LAS RESPONSABILIDADES DEL PROVEEDOR SON:

- A) Satisfacer los requisitos especificados en el contrato.
- B) Desarrollar, implantar y mantener el programa de aseguramiento de calidad especificado por esta norma, así como, lo especificado en el contrato.
- C) Dar facilidades al cliente para que evalúe los recursos y el sistema de calidad de la empresa, sin haber necesidad de tener establecido formalmente contrato alguno. También para que verifique la calidad y audite el sistema de acuerdo con lo establecido en el contrato y la especificación sobre el sistema de calidad correspondiente.
- D) En el caso en que el cliente suministre insumos para el proceso, el proveedor debe certificar que éstos cumplen los requisitos establecidos, que son consistentes con los requisitos de calidad del producto o servicio final y avisar al cliente que las no conformidades encontradas han sido convenientemente tratadas.

4.3 REQUISITOS REGULATORIOS

Los productos o servicios deben cumplir con todos los requisitos y disposiciones legales, que le sean aplicables, aún si éstos no se mencionan en el contrato.

5 REQUISITOS DEL SISTEMA DE CALIDAD

5.1 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION DE LA EMPRESA

5.1.1 POLITICA DE CALIDAD

La dirección de la empresa proveedora, debe definir y establecer por escrito su política de calidad y sus objetivos en este campo. Debe asegurarse de que su política es entendida, aplicada, mantenida y actualizada en todos los niveles de la organización.

5.1.2 ORGANIZACION:

5.1.2.1 RESPONSABILIDADES Y AUTORIDAD

El proveedor debe definir de manera documentada, las responsabilidades, la autoridad y las relaciones entre todo el personal que gestiona, realiza y verifica cualquier actividad que influye sobre la realización de la inspección y pruebas finales.

5.1.2.2 Recursos y personal de verificación

El proveedor debe establecer las condiciones adecuadas y proporcionar los recursos suficientes para llevar a cabo las verificaciones, (véase 5.12).

Las actividades de verificación deben incluir la inspección y pruebas finales. Las verificaciones y auditorías del sistema de aseguramiento de calidad, deben llevarse a cabo por personal independiente del que tiene responsabilidad de realizar cada etapa.

5.1.2.3 Representante de la dirección

La dirección de la empresa proveedora debe designar a un responsable que de manera independiente a otras responsabilidades, posea la autoridad y responsabilidad suficiente para asegurar que los requisitos de la presente norma son implantados, mantenidos y actualizados.

5.1.2.4 Representante del cliente

El cliente debe designar un representante propio o externo, éste último debe estar acreditado por la Dirección

General de Normas, con el fin de asegurarse que es efectivo el sistema de calidad establecido para el cumplimiento de esta norma. El proveedor dará al representante del cliente las facilidades que se requieran para cumplir su cometido.

5.1.3 Revisión del sistema de calidad por la dirección

El sistema de calidad adoptado para satisfacer los requisitos de esta norma, debe ser revisado sistemáticamente por la dirección, a intervalos apropiados y preestablecidos por la misma para asegurar que mantiene constantemente su eficacia y adecuación. Los informes de cada revisión deben ser archivados convenientemente.

5.2 SISTEMAS DE CALIDAD

El proveedor debe establecer, mantener y actualizar un sistema de aseguramiento de calidad documentado y eficiente, como una manera de constatar que el producto cumple con los requisitos establecidos en las etapas de inspección y pruebas finales.

La documentación del sistema de aseguramiento de calidad debe contemplar: El plan general de calidad, los procedimientos del programa de aseguramiento de calidad y los procedimientos operativos, especificaciones, instructivos y dibujos, para que se ejecuten las actividades correctamente en las áreas de la empresa.

El sistema de aseguramiento de calidad debe incluir:

- A) Los procedimientos y las instrucciones documentadas del sistema de calidad, en concordancia con los requisitos de esta norma.
- B) La aplicación efectiva de los procedimientos y de las instrucciones documentadas del sistema de calidad.

Nota: Para satisfacer los requisitos establecidos en esta norma, se deben considerar las actividades siguientes:

- Preparación de los planes de calidad y del manual de aseguramiento de calidad.
- Contar con los equipos de control, de proceso y de inspección, así como de las instalaciones o recursos de producción necesarios para conseguir la calidad requerida.
- Cuando sea conveniente, actualizar las estrategias de administración y de prueba, inclusive el uso de nuevos instrumentos y herramientas.
- Contratación y capacitación de los recursos humanos necesarios.
- El reconocimiento con antelación de las limitaciones de capacidad de medición.
- La definición de los criterios de aceptación y rechazo.
- La compatibilidad entre el proceso de producción, las actividades de inspección y prueba y la documentación aplicable.
- La preparación y establecimiento de los documentos y registros de calidad (véase 5.11).

5.2.1 Manual de aseguramiento de calidad

El plan general de calidad debe ser descrito dentro de un manual de aseguramiento de calidad, cuya emisión y modificaciones posteriores deben ser controladas.

Incluir como mínimo dentro del manual de aseguramiento de calidad, los siguientes puntos:

- A) Identificación de la organización, los recursos y los productos cubiertos por el plan general de calidad
- B) Las responsabilidades de la dirección, la organización y los requisitos especificados en la sección 5.1 incluyendo las responsabilidades y relaciones entre los departamentos involucrados con la inspección y prueba final del producto.
- C) Descripción breve y clara de las políticas y principios de aseguramiento de calidad que serán aplicados por el proveedor y que cubran los requisitos básicos de esta norma.
- D) Un cuadro de referencia con todos los procedimientos especificados en la sección 5.2.2
- E) Una sección para la autorización, la revisión y el control del manual de aseguramiento de calidad y del manual de procedimientos (véase 5.2.2)

5.2.2 Manual de procedimientos del programa de aseguramiento de calidad.

El programa de aseguramiento de calidad debe documentar, implantar y mantener los procedimientos para planear y controlar como mínimo, los siguientes elementos:

- A) Revisión del contrato.
- B) Control de documentación.
- C) Identificación y rastreabilidad.
- D) Inspección y pruebas
- E) Equipo de inspección, medición y prueba.
- F) Estado de inspección y prueba.
- G) Productos no conformes.
- H) Manejo, almacenamiento, embarque y entrega
- I) Registros de calidad.
- J) Capacitación y entrenamiento.
- K) Técnicas estadísticas.

Documentar todos los procedimientos indicando su propósito, alcance y la información necesaria, para desarrollar la actividad, incluyendo los formatos a utilizar.

Integrar el conjunto de procedimientos e instrucciones en documentos que faciliten su manejo y que en conjunto conformen el manual de procedimientos del programa de aseguramiento de calidad.

Mantener actualizado el manual de procedimientos del programa y conforme sea necesario, efectuar las modificaciones a los procedimientos que lo ameriten.

5.2.3 Manual operativo (instrucciones, procedimientos, especificaciones y dibujos)

Se deben establecer controles documentados para asegurar que las actividades descritas en la sección 5 de esta norma, se efectúan de acuerdo con la edición más reciente de instrucciones, especificaciones, procedimientos, planos y dibujos.

Nota: Esta documentación no debe integrarse en el manual de aseguramiento de calidad.

Las instrucciones, procedimientos, planos y dibujos, deben ser controlados para asegurar que éstos, incluso sus modificaciones, estén aprobados, se encuentren disponibles en el lugar de trabajo y se apliquen adecuadamente.

La asignación de la responsabilidad para la aprobación de estos documentos, se debe especificar en el manual de aseguramiento de calidad.

5.2.4 Plan de inspección, verificación y pruebas

El proveedor debe planear y documentar las actividades de inspección, verificación y pruebas. Cuando el cliente lo solicite, el plan de inspección, verificación y pruebas, se realizará para cada contrato, definiéndose la participación del cliente para verificar la calidad.

5.3 REVISION DE CONTRATO

El proveedor debe establecer y mantener actualizados los procedimientos para la revisión de contratos y la coordinación de las actividades que de ellos se derivan, cada contrato debe ser revisado por el proveedor para asegurar que:

- A) Los requisitos están definidos y documentados.
- B) Cualquier requisito del contrato que difiera de los que figuran en la oferta, sea resuelto.
- C) Está en condiciones de cumplir con los requisitos del contrato.

Nota: Se deben coordinar las actividades de revisión de contrato, las relaciones y comunicaciones entre el proveedor y el cliente. En cada revisión de contrato se emitirá un informe que será archivado y conservado para referencia.

5.4 CONTROL DE LA DOCUMENTACION

5.4.1 Aprobación y distribución de documentos

El proveedor debe establecer y mantener actualizados los procedimientos para controlar los documentos y datos que se relacionen con los requisitos de esta norma. Para asegurar que son idóneos y adecuados, estos documentos deben ser revisados y aprobados por el personal autorizado antes de su emisión y distribución. Este control debe asegurar que:

- A) Se realiza la distribución oportuna de los documentos, de manera que éstos se encuentren disponibles en todos los puntos fundamentales de las operaciones para el funcionamiento efectivo del sistema de calidad.
- B) La documentación obsoleta se retira en el menor tiempo posible, especialmente de los puntos mencionados en el inciso anterior.

5.5 IDENTIFICACION Y RASTREABILIDAD DEL PRODUCTO

La inspección y pruebas finales se identificarán mediante el uso de etiquetas, marcas o cualquier otro método que se crea conveniente. Esta identificación quedará asentada en los registros de calidad correspondientes (véase 5.11).

5.6 INSPECCION Y PRUEBAS

El programa de aseguramiento de calidad y/o los procedimientos establecidos para la inspección y pruebas finales, deben exigir que se hayan realizado con resultados satisfactorios, tanto la inspección de recibo, como las inspecciones de proceso preestablecidas, antes de realizar la inspección final

El proveedor debe llevar a cabo todas las inspecciones y pruebas finales, de acuerdo con el programa de aseguramiento de calidad y/o procedimientos documentados, hasta completar la evidencia de que el producto final cumple los requisitos especificados

Ningún producto debe ser despachado hasta que todas las actividades descritas en el programa de aseguramiento de calidad y en los procedimientos, hayan sido satisfactoriamente terminadas y los datos y documentos asociados estén disponibles y aprobados

El proveedor debe identificar y retener los productos no conformes

5.6.1 REGISTROS DE INSPECCION Y PRUEBAS

El proveedor establecerá y mantendrá actualizados los registros que comprueben que el producto ha pasado la inspección y/o pruebas de acuerdo con el criterio de aceptación establecido (véase 5.1).

5.7 EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBAS

Para demostrar la conformidad de los productos el proveedor debe identificar, verificar, calibrar y realizar el mantenimiento de los equipos de medición, inspección y pruebas, ya sean propios o ajenos.

Todo el equipo de inspección, medición y prueba utilizado en la inspección y pruebas finales, debe calibrarse y ajustarse con referencia a patrones certificados que tengan una relación válida y directa con patrones nacionales o internacionales.

Los informes y certificados de calibración de los equipos de inspección, medición y prueba, se archivarán y conservarán durante un periodo establecido.

5.8 ESTADO DE INSPECCION Y PRUEBAS

El estado de la inspección y prueba, debe ser identificado mediante el uso de etiquetas, estampillas, marcas, hojas de ruta, registros de inspección, registros informáticos, zonas físicas señaladas o cualquier otro medio adecuado, el cual indique la conformidad o no conformidad del producto, derivada de las inspecciones y pruebas efectuadas.

En los registros y documentos se identificará al responsable de las inspecciones y de la liberación de los productos conformes.

5.9 CONTROL DE PRODUCTO NO CONFORME

El proveedor debe establecer y mantener actualizados los procedimientos para asegurar que el producto no conforme, no sea utilizado o instalado indebida o inadvertidamente. Estos procedimientos deben establecer el control, la identificación, la documentación, la evaluación, la segregación y el tratamiento de los productos no conformes, así como la notificación de la decisión tomada a los departamentos y/o subcontratistas a los que pudiera afectar.

5.10 MANEJO, ALMACENAMIENTO, EMPAQUE, EMBARQUE Y ENTREGA

El proveedor debe establecer, documentar, mantener y actualizar los procedimientos para manejar, almacenar, empaquetar y entregar el producto, después de cumplidas la inspección y pruebas finales.

El proveedor debe establecer los procedimientos de protección necesarios, para asegurar que se mantiene, hasta la entrega, la calidad de los productos después de inspeccionados y probados. Si así lo especifica el contrato, la protección debe extenderse hasta la entrega en su destino.

5.11 REGISTROS DE CALIDAD

El proveedor establecerá y mantendrá procedimientos para la identificación, la clasificación, la codificación, así como para archivar, conservar y mantener disponibles los documentos o informes referentes a la calidad.

Todos los registros de calidad deben ser reproducibles, legibles e identificables con el producto al que se refieren. Los registros de calidad estarán a disposición del cliente o de su representante y de las autoridades competentes, durante un periodo de tiempo convenido.

5.12 CAPACITACION Y ADIESTRAMIENTO

El proveedor debe establecer y actualizar los procedimientos para detectar las necesidades relativas a la formación del personal que realiza actividades que afecten a la calidad, así como definir la forma en que se cubrirán estas necesidades.

El personal que realiza tareas específicas dentro del sistema de calidad (producción, verificación, o administración), debe estar calificado con base en su educación, entrenamiento y/o experiencia, de acuerdo a lo establecido en sus procedimientos, códigos y normas. Los documentos relativos a la formación (adoctrinamiento, capacitación y adiestramiento) y calificación del personal, deben ser conservados y archivados adecuadamente (véase 5.11).

El proveedor establecerá y proporcionará el adoctrinamiento que asegure que el personal está consciente de sus responsabilidades específicas en el programa de aseguramiento de calidad.

5.13 TECNICAS ESTADISTICAS

El proveedor debe identificar y clasificar las características del producto, proceso o servicio, para los cuales utilizará las técnicas estadísticas. Así como seleccionar aquellas que sean apropiadas en cuanto a los niveles de confianza para para verificar y monitorear la inspección y pruebas finales, indicando las bases de selección.

6 BIBLIOGRAFIA

A)	API SPEC Q1 – 1986	"SPECIFICATION FOR QUALITY PROGRAMS"
B)	ISO 8402 – 1986	"QUALITY – VOCABULARY"
C)	ISO 9003 – 1987	"QUALITY SYSTEMS – MODEL FOR QUALITY ASSURANCE IN FINAL INSPECTION AND TEST."
D)	CAN 3 – Z 299.1 – 1985	"QUALITY ASSURANCE PROGRAM CATEGORY 4"
E)	UNE 66903 – 86	"SISTEMAS DE CALIDAD. MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD APLICABLE A LA INSPECCION Y ENSAYOS FINALES."
F)	BS 5750 PART 3 1987	"SPECIFICATION FOR FINAL INSPECTION AND TEST."

7 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta Norma concuerda básicamente con la norma ISO 9003 – 1987, "QUALITY SYSTEMS. MODEL FOR QUALITY ASSURANCE IN FINAL INSPECTION AND TEST."

México D.F. a 3 de diciembre de 1990.

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

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

AUTOR: ING. FRANCISCO SANTOS OLIVA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26

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

Factores que afectan la calidad del concreto:

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

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

Condiciones en que debe encontrarse el sitio de la Construcción

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

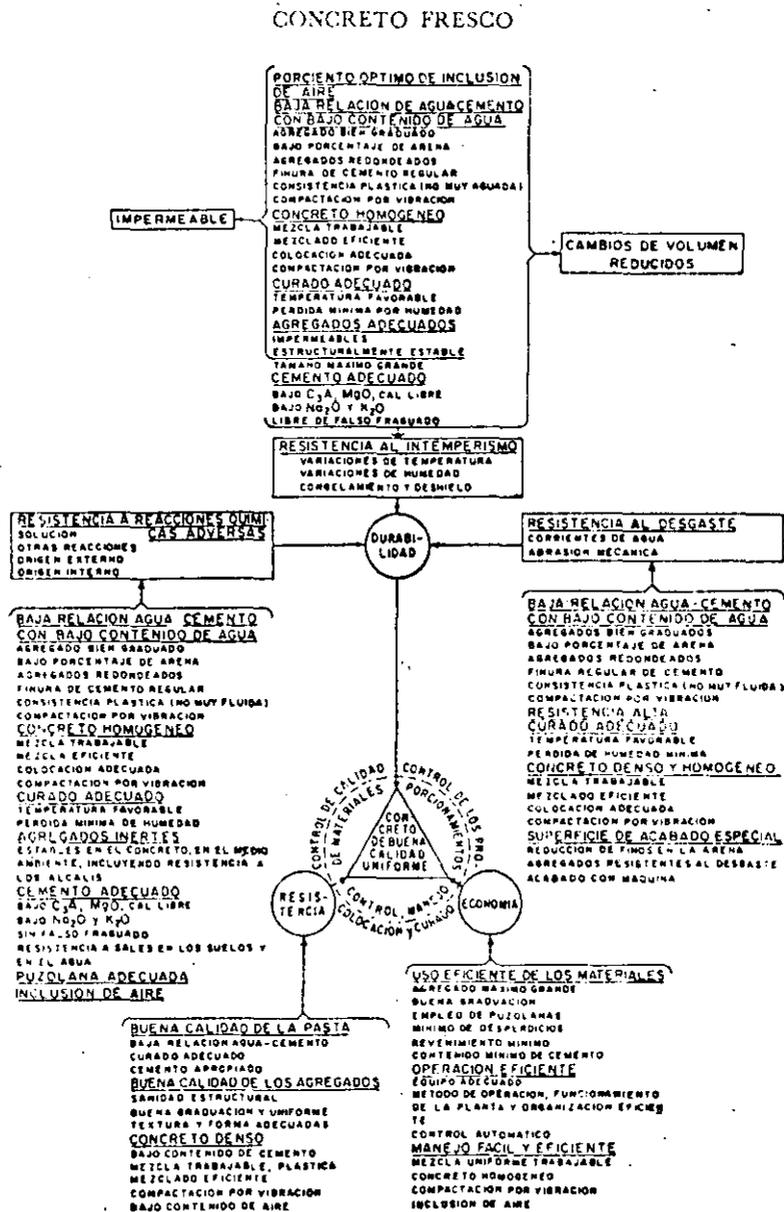


Figura 1. CUADRO FUNCIONAL DE LAS PROPIEDADES DE UN BUEN CONCRETO, SUS RELACIONES Y ELEMENTOS CON LOS QUE SE CONTROLAN.

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

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

Analicemos algunos casos:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.- Recepción del Concreto.

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

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

5.- Transporte.

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

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

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

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

6 - Colocación

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

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

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

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

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

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

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

Existen bombas de varias capacidades, pues en los años de 1960 las bombas existentes, tenían una capacidad de bombeo de aproximadamente 75 m. verticalmente y horizontalmente de 300 m., con una presión máxima de 700 lbs/pulg.², con una producción máxima de 35 m³/h., actualmente ha evolucionado este procedimiento y se pueden alcanzar los siguientes valores, transporte vertical 425 m, presión máxima 3,300 lbs/pulg² y producción máxima de 130 m³/h; estos rendimientos se han alcanzado con bombas: PUTZMEISTER TTS 14000, que emplea un motor diesel de 400 hp.

En la transparencia 16 se aprecia la colocación de concreto en un "Coferdam" para desplantar pilas de puente; en el que se necesitaron 14,500 m³ de concreto y se emplearon 3 bombas terminándose el colado en 47 horas contínuas con un promedio de 103 m³ por hora y por unidad.

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

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

7.- COMPACTACION.

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

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

- 1.- Varillado
- 2.- Vibrado.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.- TERMINADO.

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

mayoría de los casos consideran:

El colado de concreto en superficies abiertas y de grande extensión, como para pavimentos, para carreteras, pistas para aeropuertos y obras -- similares, puede presentarse una fuerte evaporación que origina un rese-- camiento de la mezcla que origina dificultad en su acomodo y posteriormen-- te aparición de figuras en su superficie por contracción por secado; lo -- que es originado por vientos de alta velocidad, temperaturas altas en el -- aire y concreto, y humedad relativa, en la transparencia (29) se expone -- un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias con-- diciones atmosféricas. Si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0-- kg/m²/h., deben tomarse las precauciones necesarias para evitar la apari-- ción de grietas plasticas.

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

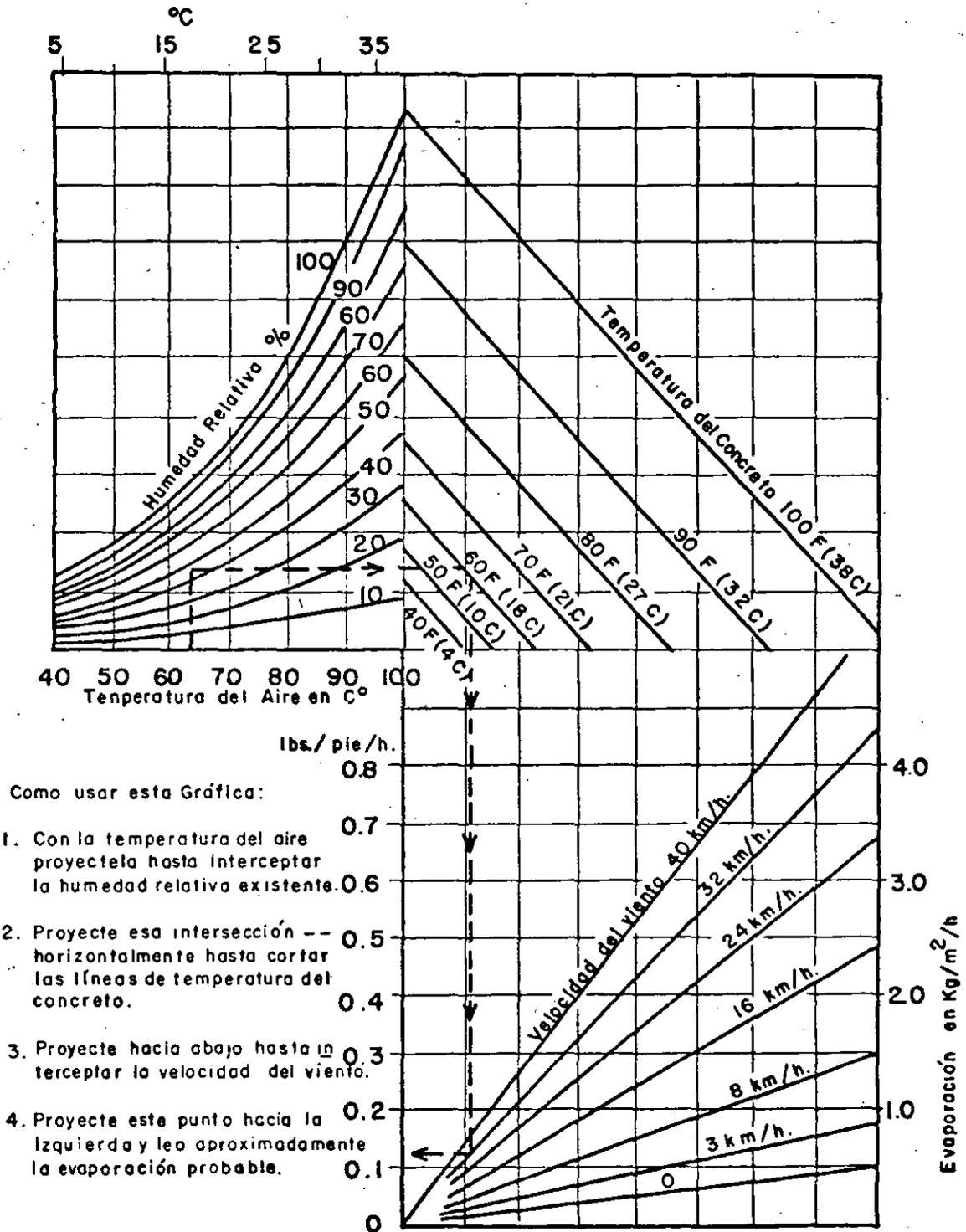


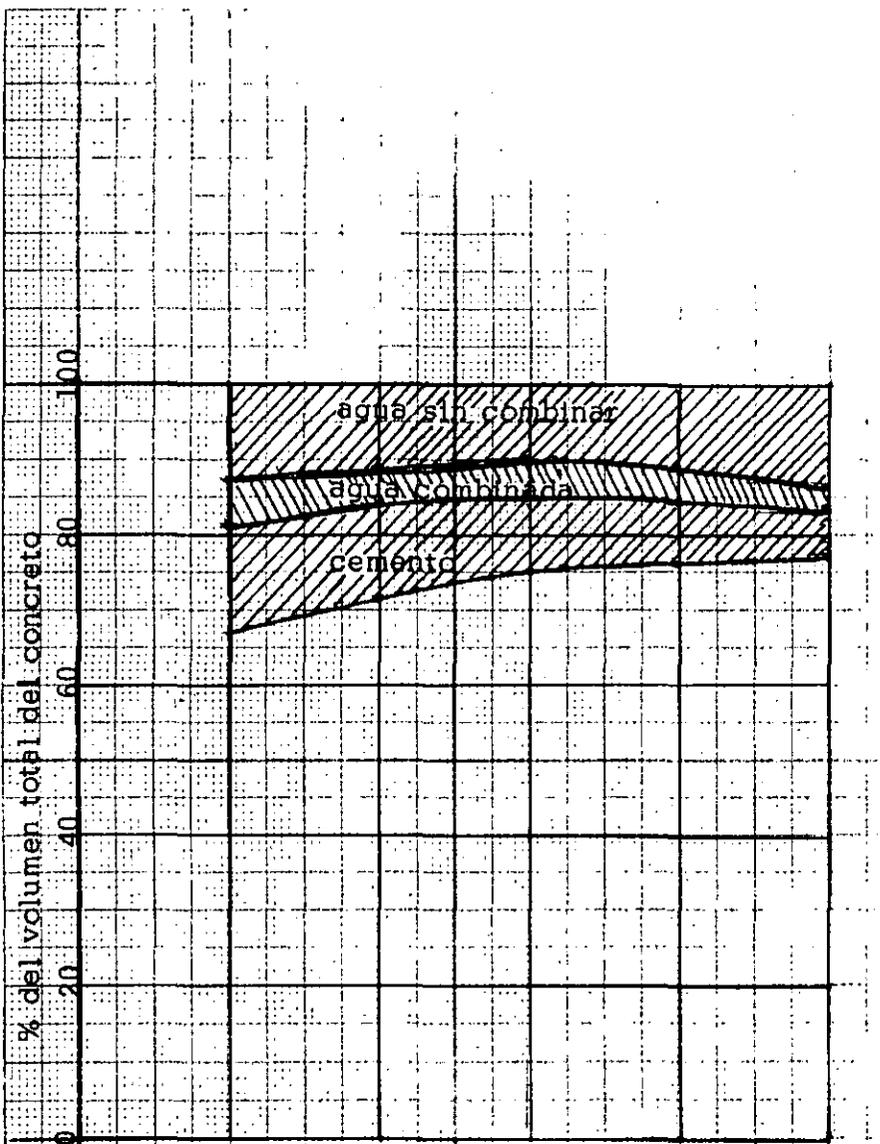
FIGURA 1.- Efecto de las temperaturas del aire y el concreto, humedad relativa y velocidad del viento en la evaporación de la humedad superficial del concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, que son las que se mencionan, si el valor de la evaporación llega a ser de 1.0 kg/m²/h, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar las grietas de construcción plásticas.

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

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

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

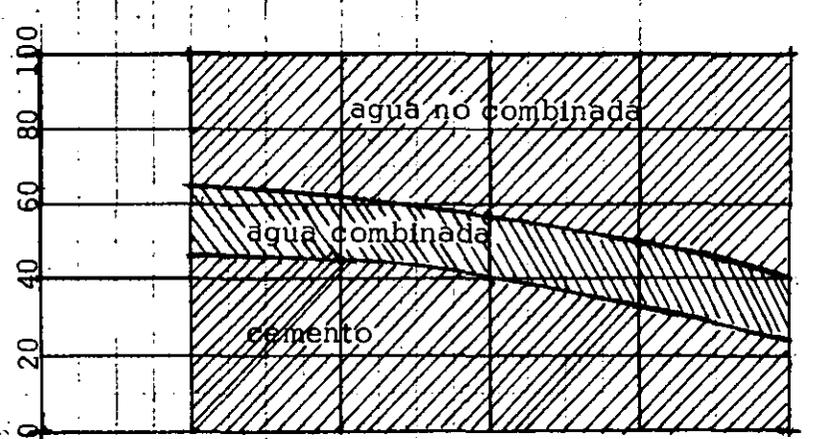
- 1.- Llenar los huecos entre las partículas de materiales pétreos que forman el concreto comunicándoles lubricación y acomodo facial entre ellas.
- 2.- En su estado endurecido darle resistencia y durabilidad
 - a.- La resistencia está fijada aproximadamente por las características del cemento.
 - b.-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



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

Mezclas de concreto

% del volumen total de la pasta



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

Mezclas de mortero

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

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

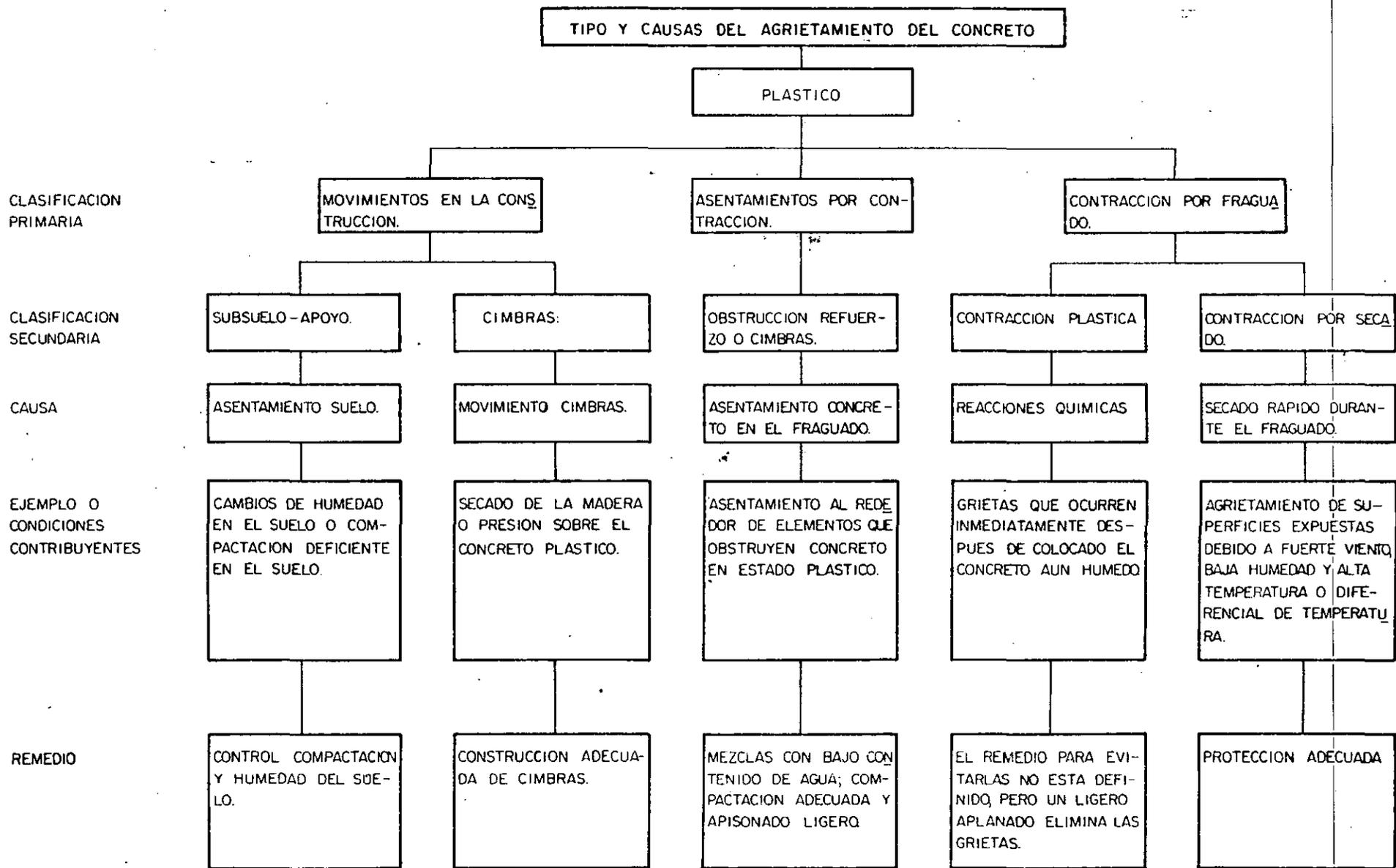
- 1.- Disminución de resistencia
- 2.- Mayor porosidad, que origina menos durabilidad por el fácil acceso de los agentes destructivos existentes en el medio ambiente que lo rodea.

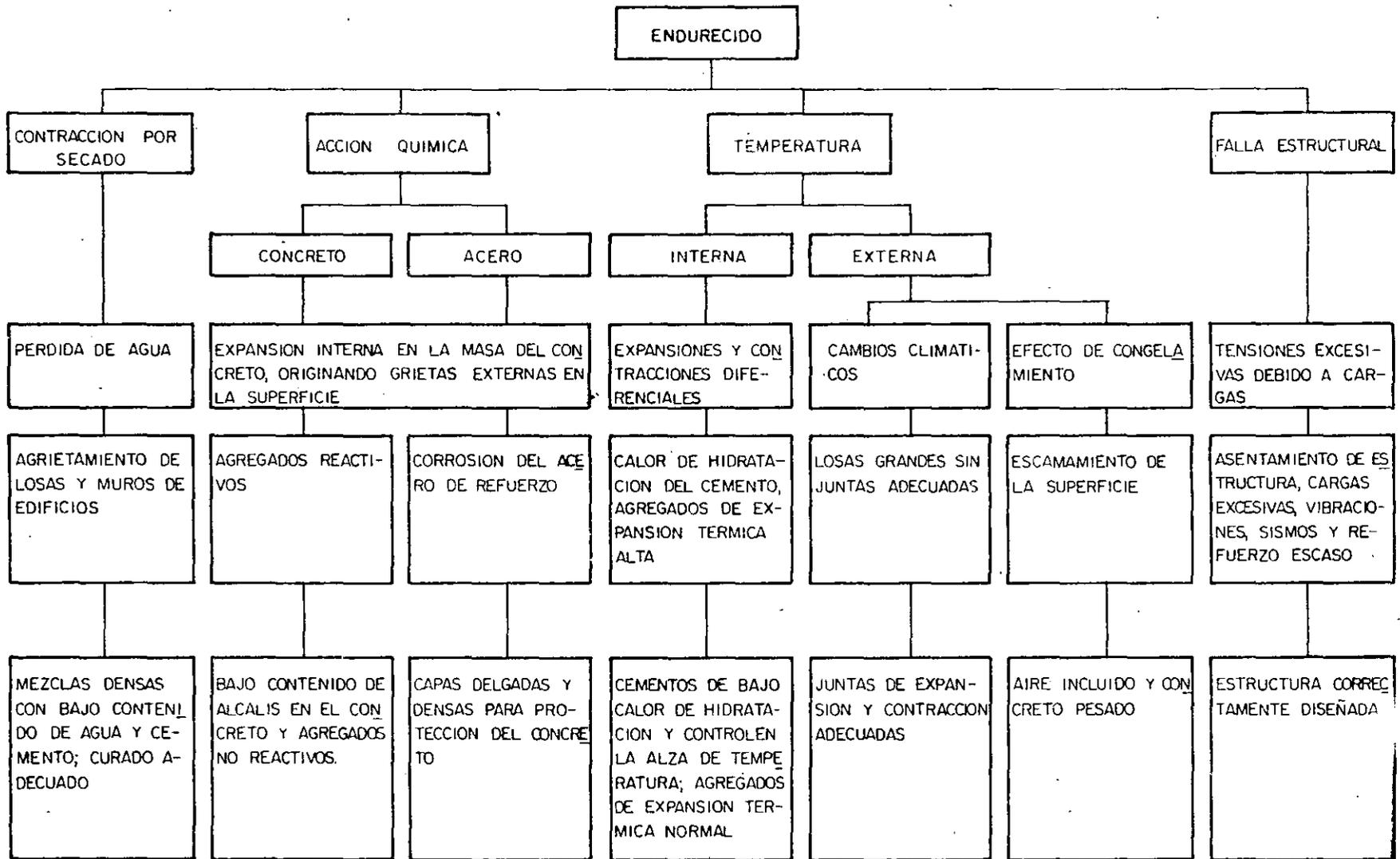
Como se dijo anteriormente el elemento de unión y digamos cementación, está representado por la pasta agua - cemento que al combinar producen reacciones químicas - dando lugar a la hidratación del cemento, momento en el cual se desarrollan geles que son ávidos de agua para su formación y después se traduce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

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

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

Encolados de grandes superficies expuestas, se presentan con frecuencia estos fenómenos que generalmente atribuyen a la mala calidad del concreto, siendo en realidad culpa del constructor que no toma las providencias necesarias para evitarlo. Estos fenómenos se originan por efectos de las temperaturas del aire y concreto, humedad relativa del ambiente y velocidad del viento, transparencia 29, ocasionando evaporación superficial en el concreto. La gráfica nos da un método para estimar la pérdida de humedad superficial para varias condiciones atmosféricas, si el valor de la evaporación obtenida por este método es superior a 1.0 kg/m² / h deben tomar las precauciones para evitarlo y que aparezcan grietas contracción plástica.





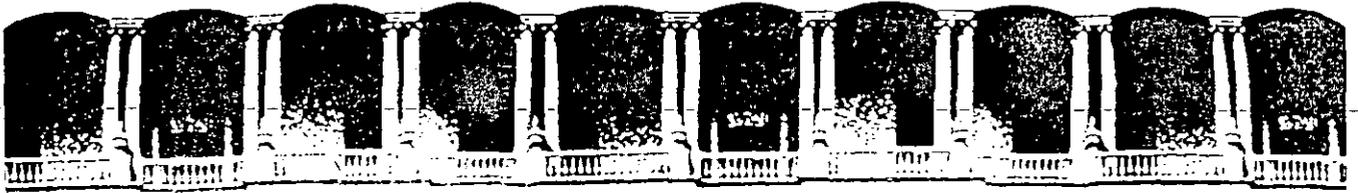
CLASIFICACION PRIMARIA

CLASIFICACION SECUNDARIA

CAUSA

EJEMPLO O CONDICIONES CONTRIBUYENTES

REMEDIO



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

CURSOS ABIERTOS

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

DEL 14 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1994

**PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA EVALUACION DE LOS
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA
DEL CONCRETO**

**INST. MEXICANO DEL CEMENTO
Y DLE CONCRETO A.C.**

CONTENIDO

SINOPSIS	11
CAPITULO 1.- INTRODUCCION	13
CAPITULO 2.- VARIACIONES EN LA RESISTENCIA	15
2.1. Aspectos generales	15
2.2. Propiedades del concreto	15
2.3. Métodos de prueba	17
CAPITULO 3.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA	19
3.1. Notación	19
3.2. Aspectos generales	20
3.3. Funciones estadísticas	21
3.3.1. Promedio, \bar{X}	21
3.3.2. Desviación estándar, σ	22
3.3.3. Coeficiente de variación, V	22
3.3.4. Intervalo, R	22
3.4. Variaciones en la resistencia	22
3.4.1. Variación inherente a la prueba	23
3.4.2. Variaciones de mezcla a mezcla	24
3.5. Normas de control	27
CAPITULO 4.- CRITERIOS	29
4.1. Aspectos generales	29
4.2. Criterios para los requerimientos de resistencia	33
4.2.1. Criterio No. 1	34
4.2.2. Criterio No. 2	35
4.2.3. Criterio No. 3	36
4.2.4. Criterio No. 4	37
4.3. Información adicional	39
4.4. Cartas de control de calidad	39
4.5. Pruebas y cilindros requeridos	40
4.6. Rechazo de cilindros dudosos	44
CAPITULO 5.- REFERENCIAS	45

SINOPSIS

Los procedimientos estadísticos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia y ese enfoque también resulta de valor para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño. El informe discute brevemente las numerosas variaciones que se manifiestan en la resistencia del concreto y presenta procedimientos estadísticos que son útiles para la interpretación de estas variaciones.

Palabras clave: coeficiente de variación; pruebas de compresión; resistencia a la compresión; construcción en concreto; concretos; cilindros; evaluación; control de calidad; muestreo; desviación estándar; análisis estadístico; variaciones.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Los propósitos de las pruebas de resistencia del concreto son para determinar el cumplimiento de una especificación de resistencia y para medir la variabilidad del concreto.

El concreto, que es una masa endurecida de materiales heterogéneos, está sujeto a la influencia de numerosas variables. Dependiendo de su propia variabilidad, las características de cada uno de los ingredientes del concreto pueden ocasionar variaciones en la resistencia de éste. Las variaciones también pueden ser el resultado de las prácticas seguidas durante la dosificación, el mezclado, la transportación, la colocación y el curado. Además de las variaciones presentes en el concreto mismo, las variaciones en las pruebas de resistencia también serán el resultado de la fabricación, de las pruebas y del tratamiento de las muestras de prueba. Deben aceptarse las variaciones en la resistencia del concreto, pero con toda confianza se puede producir concreto de la calidad adecuada si se mantiene un control apropiado, si se interpretan correctamente los resultados de las pruebas y si se toman en consideración sus limitaciones.

El control apropiado se alcanza por medio de la utilización de materiales satisfactorios, la dosificación y el mezclado correctos de dichos materiales para obtener concreto de la calidad deseada, y la buena práctica en la transportación, la colocación, el curado y la realización de pruebas. Aunque la compleja naturaleza del concreto elimina una completa homogeneidad, una variación excesiva en la resistencia del concreto significa una falla en el adecuado control de éste. El mejoramiento del control puede permitir una reducción en los costos del concreto, puesto que la resistencia promedio se puede acercar más a los requisitos de las especificaciones.

La resistencia no es, necesariamente, el factor más crítico en el proporcionamiento de las mezclas de concreto ya que otros factores, tales como la durabilidad, pueden imponer relaciones agua/cemento más bajas que aquellas que son necesarias para cumplir con los requisitos de resistencia. En esos casos la resistencia será, por necesidad, superior a las exigencias estructurales. No obstante, en esas circunstancias, las pruebas de resistencia son valiosas puesto que, con el proporcionamiento de mezclas establecido, las variaciones en la resistencia indican variaciones de otras propiedades.

Las muestras de prueba indican la resistencia potencial más que la resistencia real del concreto en una estructura. Para ser significativas, las conclusiones sobre la resistencia del concreto deben derivarse de un patrón de pruebas del cual se pueden calcular, con razonable exactitud, las características del concreto. Es fácil llegar a conclusiones poco confiables cuando no se han efectuado las pruebas suficientes.

Los procedimientos estadísticos nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia, y la información que se deriva de dichos procedimientos también sirve para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño. Este informe discute brevemente las variaciones que se presentan en la resistencia del concreto y presenta los procedimientos estadísticos que son útiles para la interpretación de estas variaciones, en relación con los criterios y las especificaciones requeridas. Para que estos procedimientos estadísticos sean válidos, los datos deben derivarse de muestras obtenidas en el curso del desarrollo de un plan de muestreo al azar, diseñado para reducir la posibilidad de que aquél que haya de hacer la prueba, escoja las muestras. El "muestreo al azar" significa que existe la posibilidad de elegir cualquiera de las muestras. Para que esta condición sea segura, la elección debe hacerse por medio de algún mecanismo objetivo, tal como una tabla de números al azar. Si el preparador de muestras selecciona las muestras de prueba basándose sólo en su propio criterio, es probable que su inclinación invalide los resultados que se analizan en los procedimientos aquí considerados. La Referencia 1 incluye una discusión sobre el muestreo al azar y una tabla, corta y útil, de números aleatorios.

En la publicación *Realism in the Application of ACI Standard 214-65²* (Realismo en la aplicación de la Norma ACI 214-65) se proporciona información adicional acerca del significado y el uso de esta práctica recomendable. Este volumen es una recopilación de la información acerca del ACI 214-65², que se presentó en un simposio efectuado en Buffalo, N. Y. en 1971. Además de los trabajos presentados en el simposio, se incluyen reimpressiones de unos trabajos relacionados con dicha práctica, que previamente se habían publicado en el ACI Journal y de la discusión que surgió de su publicación. Aunque la información proporcionada se basaba en la Norma ACI 214-65, la mayor parte de ella aún está vigente. Una fuente adicional de material acerca de la evaluación de las pruebas de resistencia, es la Bibliografía No. 2 del ACI publicada en 1960.³

CAPITULO 2

VARIACIONES EN LA RESISTENCIA

2.1. Aspectos generales

La magnitud de las variaciones en la resistencia de las muestras de prueba de concreto depende de lo adecuado del control de los materiales, de la fabricación del concreto y de la realización de las pruebas. Se puede encontrar el origen de las diferencias en la resistencia, en dos fuentes fundamentalmente distintas, tal como lo muestra la Tabla 2.1: (a) las variaciones en las propiedades de la mezcla de concreto y de sus ingredientes, y (b) las diferencias aparentes en la resistencia ocasionadas por las variaciones inherentes a la prueba.

2.2. Propiedades del concreto

Ha quedado perfectamente establecido que la resistencia está regida, en gran medida, por la relación agua/cemento. Por lo tanto, el primer criterio a considerar para producir concreto de resistencia constante, es una relación agua/cemento constante. Ya que la cantidad de cemento y agua adicionada se pueden medir con toda exactitud, el problema de mantener una relación agua/cemento constante es, principalmente, el de corregir la cantidad variable de humedad libre en los agregados.

La homogeneidad del concreto está influida por la variabilidad de los agregados, del cemento y de los aditivos empleados, puesto que estos contribuirán a las variaciones en la resistencia del concreto. La temperatura del concreto

fresco influye en la cantidad de agua necesaria para lograr la consistencia adecuada y, por consiguiente, también contribuye a la variación en la resistencia del concreto. Las prácticas de construcción pueden ocasionar variaciones en la resistencia debido a un mezclado inadecuado, a una mala compactación, a los retrasos y a un curado incorrecto, las cuales no se reflejan en las muestras que se fabrican y almacenan en condiciones estándar.

El empleo de aditivos añade un factor más, ya que cada aditivo incorpora otra variable al concreto. La dosificación de los acelerantes, los retardantes, las puzolanas y los agentes inclusores de aire deben ser cuidadosamente controlados.

TABLA 2.1.— PRINCIPALES FUENTES DE VARIACION EN LA RESISTENCIA

Variaciones en las propiedades del concreto	Discrepancias en los métodos de prueba
Cambios en la relación agua/cemento: Deficiente control de agua Excesiva variación de humedad en el agregado Retemplado	Procedimientos incorrectos en el muestreo
Variaciones en el requerimiento de agua: Granulometría del agregado, absorción, forma de la partícula Propiedades del cemento y del aditivo Contenido de aire Tiempo de entrega y temperatura	Variaciones debidas a técnicas de fabricación Manejo y curado de cilindros recién fabricados Moldes de calidad deficiente
Variaciones en las características y proporciones de los ingredientes: Agregados Cemento Puzolanas Aditivos	Cambios en el curado: Variaciones en la temperatura Humedad variable Retrasos en el acarreo de los cilindros al laboratorio
Variaciones en la transportación, la colocación y la compactación	Deficientes procedimientos de prueba: Cabeceado de los cilindros Pruebas de compresión
Variaciones en la temperatura y en el curado	

2.3. Métodos de prueba

Las pruebas del concreto pueden incluir o no, todas las variables en la resistencia del concreto colado en el lugar, dependiendo de cuáles variables se han introducido después de haber elaborado las muestras de prueba. Por otra parte, las discrepancias en el muestreo, la fabricación, el curado y la prueba de las muestras pueden ocasionar indicaciones de variaciones en la resistencia que no existen en el concreto de la estructura. Sin necesidad alguna se penaliza el proyecto cuando son excesivas las variaciones que se originan en esta situación. Estas variaciones se reducirán por medio de buenos métodos de prueba, y los procedimientos estándar, tales como los descritos en las normas ASTM, deben seguirse con toda precisión.

No es necesario hacer hincapié en la importancia que tiene utilizar máquinas de prueba exactas y elaborar cabeceados delgados, planos, paralelos y de alta resistencia, ya que los resultados de las pruebas no pueden ser más exactos que el equipo y los procedimientos utilizados en ellas. *Los resultados uniformes en las pruebas no significan necesariamente, resultados correctos en las pruebas.* Periódicamente deben calibrarse y revisarse, tanto el equipo de laboratorio, como los procedimientos utilizados.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA

3.1. Notación

d_2 y $1/d_2$	=	factores para el cálculo de la desviación estándar en el intervalo promedio, dentro de la prueba.
f_{cr}	=	resistencia promedio requerida para asegurarse de que sólo aquella proporción permisible de pruebas caerá por debajo de la resistencia especificada.
f'_c	=	resistencia especificada
n	=	número de pruebas
R	=	intervalo
\bar{R}_m	=	máximo para el intervalo promedio utilizado en las cartas de control para cambiar el promedio del intervalo
\bar{R}	=	intervalo promedio
σ	=	desviación estándar
σ_1	=	desviación estándar dentro de la prueba
σ_2	=	desviación estándar de muestra a muestra
t	=	multiplicador constante para la desviación estándar (σ) que depende del número de pruebas que se espera caigan por debajo de f'_c
V	=	coeficiente de variación

- V_1 = coeficiente de variación dentro de la prueba
- X_i = un resultado individual de la prueba
- \bar{X} = promedio de los resultados de la prueba

3.2. Aspectos generales

Para obtener el máximo de información, debe efectuarse una cantidad suficiente de pruebas, con lo cual se indica la variación en el concreto elaborado y permite la utilización de los procedimientos estadísticos apropiados que serán empleados en la interpretación de los resultados de las pruebas. Los procedimientos estadísticos proporcionan la mejor herramienta para que, de tales resultados, se determine la resistencia y la calidad potencial del concreto y se expresen los resultados de la manera más útil.

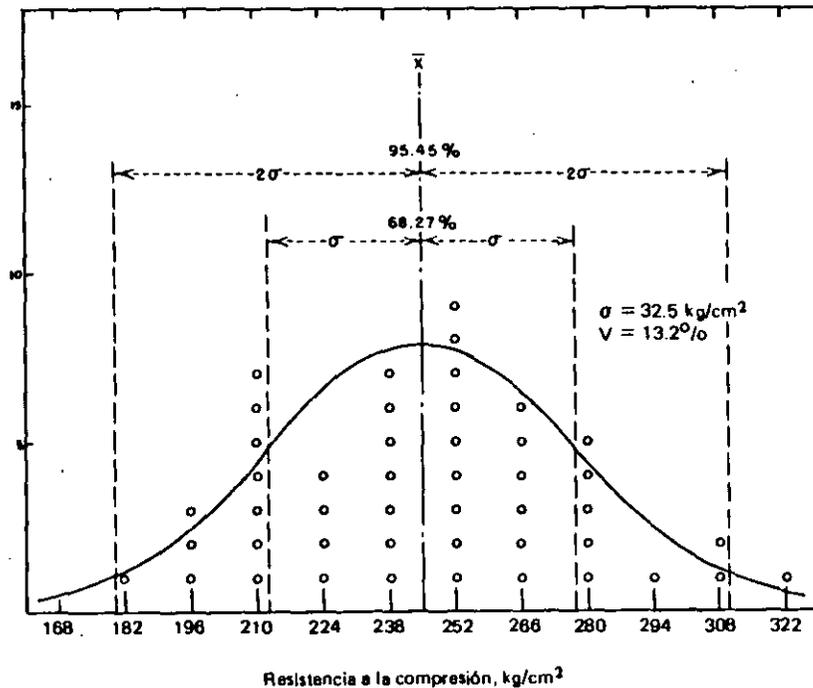


Fig. 3.3 (a).- Distribución de frecuencia de resultados de resistencia y la correspondiente distribución normal

3.3. Funciones estadísticas

Se puede suponer que, en proyectos controlados, la resistencia de las muestras de prueba de concreto asumirá un patrón similar a la curva de distribución normal de frecuencia ilustrada en la Fig. 3.3. (a). Donde existe un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva será alta y estrecha. Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada, tal como se muestra en la Fig. 3.3. (b). Como las características de esas curvas se pueden definir matemáticamente, es posible calcular ciertas funciones útiles de la resistencia de la siguiente manera:

3.3.1. Promedio, \bar{X} . La resistencia promedio de todas las pruebas individuales

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \tag{3.1}$$

Donde $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ son los resultados de la resistencia de las pruebas individuales y n es el número total de pruebas efectuadas. Una prueba se define como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto.

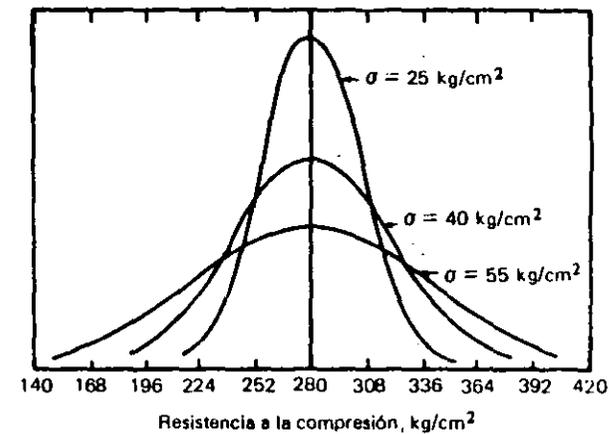


Fig. 3.3 (b).- Curvas normales de frecuencia para diferentes desviaciones estándar

3.3.2. *Desviación estándar, σ* . La medida de dispersión más generalmente reconocida es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, dividido entre el número de resultados menos uno. Esta estadística es conocida como la desviación estándar y puede considerarse como el radio de giro alrededor de la línea de simetría del área bajo la curva de distribución de frecuencia de los datos de resistencia, tal como se muestra en la Fig. 3.3. (a). El mejor cálculo de σ , basado en una cantidad finita de datos, se obtiene mediante la ecuación (3-2), o mediante su equivalente algebraico, la ecuación (3-2a). Esta última ecuación es preferible para propósitos de cálculo, porque no sólo es más sencilla y más adaptable a las calculadoras de oficina, sino que evita los posibles problemas debidos a errores por aproximación.

$$\sigma = \left\{ \left[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2 \right] / n - 1 \right\}^{1/2} \quad (3-2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum \bar{X}_i)^2}{n}}{n - 1}} \quad (3-2a)$$

3.3.3. *Coficiente de variación, V*. La desviación estándar, expresada como un porcentaje de la resistencia promedio, se llama coeficiente de variación:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \quad (3-3)$$

3.3.4. *Intervalo, R*. El intervalo es la estadística que se obtiene restando el menor de un conjunto de números del más alto del grupo. El intervalo dentro de la prueba se obtiene restando la menor de las resistencias del conjunto de cilindros promediada para formar una prueba a partir de la más alta del grupo. El intervalo dentro de la prueba es útil en el cálculo de la desviación estándar inherente a la prueba que se discute en la siguiente sección.

3.4. Variaciones en la resistencia

Como previamente se mencionó, las variaciones en los resultados de las pruebas de resistencia tienen su origen en dos fuentes diferentes: (a) variaciones en los métodos de prueba y (b) propiedades de la mezcla de concreto y de los ingredientes. Mediante el análisis de la varianza es posible calcular las variaciones que se pueden atribuir a cada una de estas dos fuentes.

3.4.1. *Variación inherente a la prueba*. La variación en la resistencia del concreto dentro de una prueba única se obtiene calculando la variación de un grupo de cilindros elaborados de una muestra de concreto tomada de una mezcla determinada. Es razonable suponer que una mezcla de prueba de concreto es homogénea y que cualquier variación entre dos cilindros compañeros, elaborados de una muestra determinada es ocasionada por las variaciones en la fabricación, el curado y la prueba.

TABLA 3.4.1.— FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDAR INHERENTE A LA PRUEBA*

Número de cilindros	d_2	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

* Tomada de la Tabla B2 del Manual on Quality Control of Materials (Manual sobre el control de calidad de los materiales) de la ASTM, Referencia 4.

No obstante, una única mezcla de prueba de concreto no proporciona los datos suficientes para el análisis estadístico y se requieren cilindros compañeros de, por lo menos, diez muestras de concreto a fin de establecer valores confiables para \bar{R} . La desviación estándar dentro de la prueba y el coeficiente de variación pueden calcularse convenientemente como sigue:

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R} \quad (3-4)$$

$$V_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{X}} \times 100 \quad (3-5)$$

donde

- σ_1 = desviación estándar dentro de la prueba
- $1/d_2$ = una constante dependiente de la cantidad de cilindros promedio para producir una prueba (Tabla 3.4.1.)
- \bar{R} = intervalo promedio dentro de grupos de cilindros compañeros
- V_1 = coeficiente de variación dentro de la prueba
- \bar{X} = resistencia promedio

3.4.2. *Variaciones de mezcla a mezcla.* Estas variaciones reflejan diferencias en la resistencia, que se pueden atribuir a variaciones en:

- a) Las características y las propiedades de los ingredientes
- b) La dosificación, el mezclado y el muestreo
- c) Las pruebas cuyo resultado no se ha deducido de cilindros compañeros ya que existe la tendencia a tratarlos de manera más semejante, que a otros cilindros probados en momentos distintos.

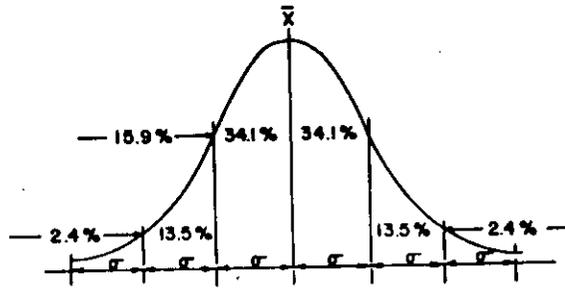


Fig. 3.4.2 (a).-- División aproximada del área bajo la curva de distribución normal de frecuencia

Las fuentes de variación de mezcla a mezcla y dentro de la prueba están relacionadas con la variación total [Ec. (3-3)] por la expresión siguiente:

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad (3-6)$$

donde

- σ = desviación estándar total
- σ_1 = desviación estándar dentro de la prueba
- σ_2 = desviación estándar de mezcla a mezcla

Una vez que estos parámetros se han calculado y suponiendo que los resultados siguen una curva de distribución normal de frecuencia, se conoce una gran cantidad de información acerca de los resultados de las pruebas. La Fig. 3.4.2 (a) indica una división aproximada del área bajo la curva de distribución normal de frecuencia. Por ejemplo, aproximadamente el 68% del área (equivalente al 68% de los resultados de las pruebas) cae dentro de $\pm 1\sigma$ del promedio, 95%

dentro de $\pm 2\sigma$, etc. Esto permite hacer una estimación de los resultados de las pruebas que se espera caigan dentro de múltiplos dados de σ del promedio, ó de cualquier otro valor específico. La Tabla 3.4.2 ha sido adaptada de la integral normal de probabilidad de la curva de distribución normal de frecuencia teórica y muestra la probabilidad de que los resultados de las pruebas caigan por debajo de f'_c en términos de la resistencia promedio de la mezcla $\bar{X} = f'_{cr} = (f'_c + t\sigma)$. Las curvas de distribución acumulativas también se pueden graficar acumulando la cantidad de pruebas con resultados inferiores a cualquier resistencia dada, expresada como porcentaje de la resistencia promedio, para distintos coeficientes de variación o desviaciones estándar. Las Figs. 3.4.2. (b) y 3.4.2. (c) muestran dicha información.

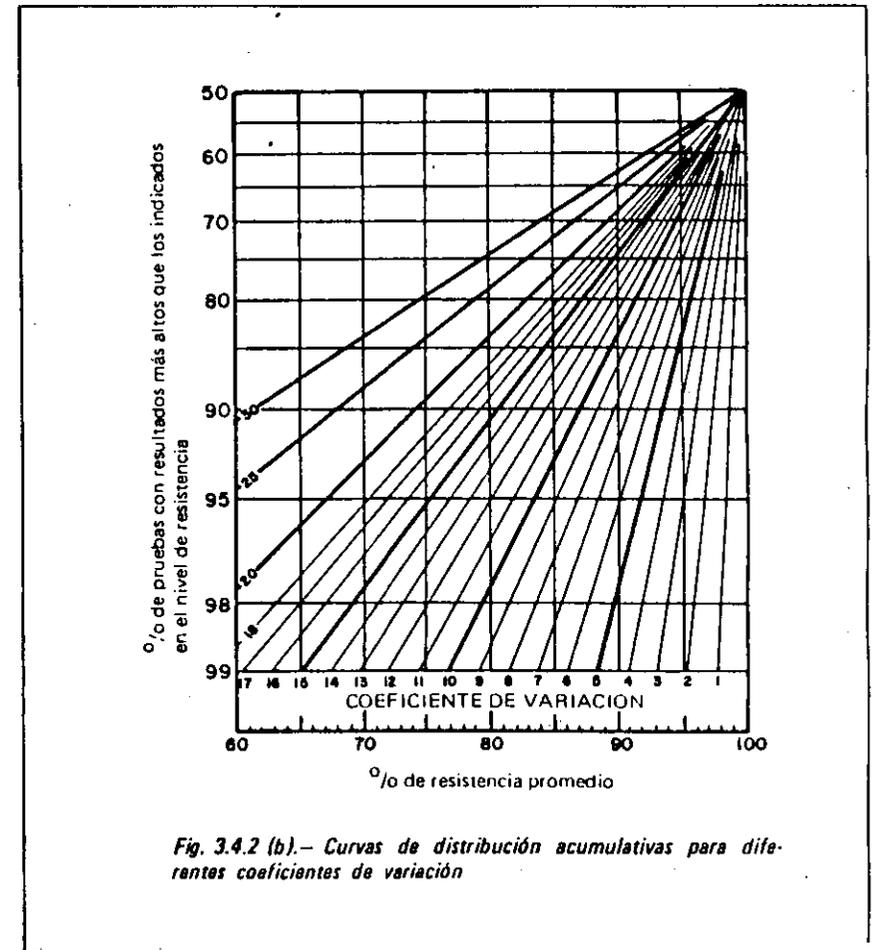
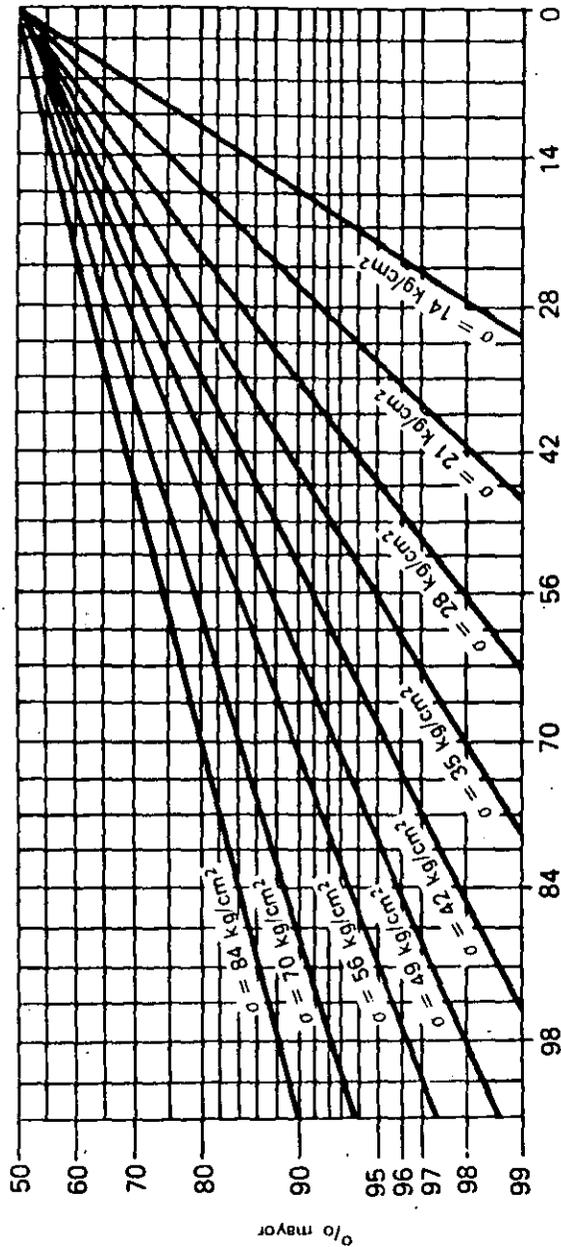


Fig. 3.4.2 (b).-- Curvas de distribución acumulativas para diferentes coeficientes de variación



Resistencia a la compresión kg/cm², por debajo del promedio
 Fig. 3.4.2 (c).— Curvas de distribución acumulativas para diferentes desviaciones estándar

TABLA 3.4.2.— PORCENTAJES PREVISTOS DE LAS PRUEBAS CON RESULTADOS POR DEBAJO DE f'_c , EN LOS CUALES \bar{X} SOBREPASA A f'_c POR LA CANTIDAD SEÑALADA

Resistencia promedio, \bar{X}	Porcentaje previsto de pruebas con resultados por debajo del nivel de resistencia	Resistencia promedio, \bar{X}	Porcentaje previsto de pruebas con resultados por debajo del nivel de resistencia
$f'_c + 0.10\sigma$	46.0	$f'_c + 1.60\sigma$	5.5
$f'_c + 0.20\sigma$	42.1	$f'_c + 1.70\sigma$	4.5
$f'_c + 0.30\sigma$	38.2	$f'_c + 1.80\sigma$	3.6
$f'_c + 0.40\sigma$	34.5	$f'_c + 1.90\sigma$	2.9
$f'_c + 0.50\sigma$	30.9	$f'_c + 2.00\sigma$	2.3
$f'_c + 0.60\sigma$	27.4	$f'_c + 2.10\sigma$	1.8
$f'_c + 0.70\sigma$	24.2	$f'_c + 2.20\sigma$	1.4
$f'_c + 0.80\sigma$	21.2	$f'_c + 2.30\sigma$	1.1
$f'_c + 0.90\sigma$	18.4	$f'_c + 2.40\sigma$	0.8
$f'_c + \sigma$	15.9	$f'_c + 2.50\sigma$	0.6
$f'_c + 1.10\sigma$	13.6	$f'_c + 2.60\sigma$	0.45
$f'_c + 1.20\sigma$	11.5	$f'_c + 2.70\sigma$	0.35
$f'_c + 1.30\sigma$	9.7	$f'_c + 2.80\sigma$	0.25
$f'_c + 1.40\sigma$	8.1	$f'_c + 2.90\sigma$	0.19
$f'_c + 1.50\sigma$	6.7	$f'_c + 3.00\sigma$	0.13

En estas figuras, la ordenada indica el porcentaje de la población de valores de resistencia que puede esperarse sobrepase la resistencia indicada por cualquier valor de la abscisa, para un coeficiente de variación o para una desviación estándar seleccionada.

3.5. Normas de control

La decisión relativa a si la desviación estándar o el coeficiente de variación es la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación, depende de cuál de las dos medidas es la constante más cercana a las características de resistencia, a través de un intervalo de resultados, de esa situación en particular. La presente información indica que la desviación estándar permanece como una constante más aproximada, en especial en resistencias superiores a 200 kg/cm². Se considera más aplicable el coeficiente de variación para las variaciones dentro de la prueba (Ver las Referencias 5 - 10).

La Tabla 3.5 muestra la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión en proyectos sujetos a diferentes grados de control. Estos valores no se aplican a otras pruebas de resistencia.

TABLA 3.5.— NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO

Variación total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes normas de control kg/cm ²				
	excelente	muy buena	buena	aceptable	pobre
Pruebas de control en el campo	por debajo de 25	de 25 a 35	de 35 a 40	de 40 a 50	sobre 50
Mezclas de prueba de laboratorio	por debajo de 15	de 15 a 17	de 17 a 20	de 20 a 25	sobre 25

Variación en las pruebas					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes normas de control, en porcentaje				
	excelente	muy bueno	bueno	aceptable	pobre
Pruebas de control en el campo	por debajo de 3	de 3 a 4	de 4 a 5	de 5 a 6	arriba de 6
Mezclas de prueba de laboratorio	por debajo de 2	de 2 a 3	de 3 a 4	de 4 a 5	arriba de 5

CAPITULO 4

CRITERIOS

4.1. Aspectos generales

La resistencia de los cilindros de control, por lo general es la única evidencia palpable de la calidad del concreto utilizado en la construcción de una estructura. Con motivo de la posible disparidad entre la resistencia de los cilindros de prueba y la capacidad de carga de una estructura, no es prudente confiar en datos de resistencia incorrectos.

El número de pruebas con resistencias inferiores a la deseada es más importante en el cálculo de la capacidad de carga de las estructuras de concreto, que la resistencia promedio obtenida. No obstante, no resulta práctico especificar una resistencia mínima ya que, aún cuando existe un buen control, siempre cabe la posibilidad de resistencias todavía más bajas. También se ha reconocido que los cilindros pueden no representar al concreto en cada porción de la estructura, con la exactitud deseada. En las ecuaciones del diseño se proporcionan factores de seguridad que permiten obtener resistencias específicas, sin poner en peligro la seguridad de la estructura. Estos se han desarrollado con base en las prácticas de construcción, los procedimientos de diseño y las técnicas de control de calidad utilizadas dentro de la industria de la construcción. También debe recordarse que para una resistencia media dada, si un pequeño porcentaje de los resultados de prueba cae por debajo de la resistencia de diseño, el gran porcentaje correspondiente a los resultados de las pruebas será superior a la resistencia de diseño, con una probabilidad semejante de estar localizado en un área crítica. Los orígenes de una zona de concreto de baja resistencia en una estructura depende de muchos factores, entre los cuales se

encuentran la probabilidad de una sobrecarga a temprana edad, la ubicación y la magnitud de la zona de baja calidad en la unidad estructural, el grado de confianza depositado en la resistencia de diseño y la causa inicial de la baja resistencia. Las consecuencias de la falla estructural son de índole económica al igual que de otros tipos.

El criterio final que concede la probabilidad de que las pruebas caigan por debajo de la f'_c , utilizada en el diseño, es la decisión del diseñador, que se basa en el conocimiento íntimo de las condiciones que tienen la mayor probabilidad de ocurrir durante la construcción. El Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (ACI 318-71), proporciona directrices a este respecto, al igual que otros reglamentos de construcción y otras especificaciones.

Para satisfacer los requisitos del comportamiento de la resistencia, expresados de esta manera, la resistencia promedio del concreto debe ser superior a f'_c , o sea la resistencia de diseño. La cantidad excesiva de la resistencia depende de la variabilidad esperada en los resultados de las pruebas, tal como se expresa mediante un coeficiente de variación o una desviación estándar, y de la proporción permisible de pruebas con resultados menores que los indicados en el nivel de resistencia.

Los valores de resistencia para determinar la desviación estándar o el coeficiente de variación deben representar un grupo de, por lo menos, 30 pruebas consecutivas hechas a una producción de concreto en condiciones semejantes a las previstas en el proyecto. Se considerará que se ha cumplido con el requerimiento para 30 pruebas consecutivas de resistencia, si las pruebas, o un grupo de 30 mezclas consecutivas representan la misma clase de concreto, o el promedio estadístico de dos grupos que sumen 30 o más mezclas. Será difícil definir condiciones "similares" y pueden estar mejor documentadas recolectando varios grupos de 30 o más pruebas. En general, los cambios de materiales y de procedimientos tendrán un efecto más grande en el nivel de resistencia promedio, que en la desviación estándar o en el coeficiente de variación. Comúnmente, los cambios significativos incluyen cambios de tipo y marca de cemento Portland, de los aditivos, de la fuente de los agregados, del proporcionamiento de las mezclas, de la dosificación, del mezclado, de la entrega o de las pruebas. Los datos deben ser representativos del concreto producido para cumplir con una resistencia específica cercana a la especificada para la obra en cuestión, ya que la desviación estándar puede variar conforme varía la resistencia promedio. La resistencia promedio f_{cr} requerida para cualquier diseño puede ser calculada por medio de la Ec. (4-1) o la (4-1a), (Tabla 3.4.2), o aproximada mediante la Fig. 4.1.(a) o la 4.1.(b), dependiendo de si se utiliza el coeficiente de variación o la desviación estándar.

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{(1 - tV)} \quad (4-1)$$

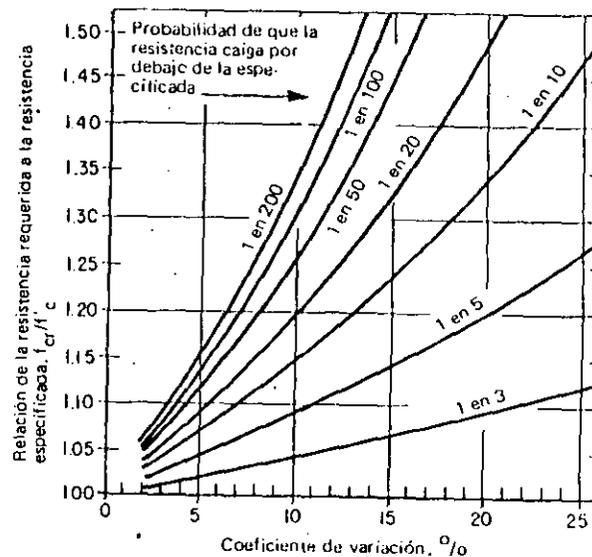


Fig. 4.1 (a).— Relación de la resistencia promedio requerida f_{cr} a la resistencia especificada f'_c para varios coeficientes de variación y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

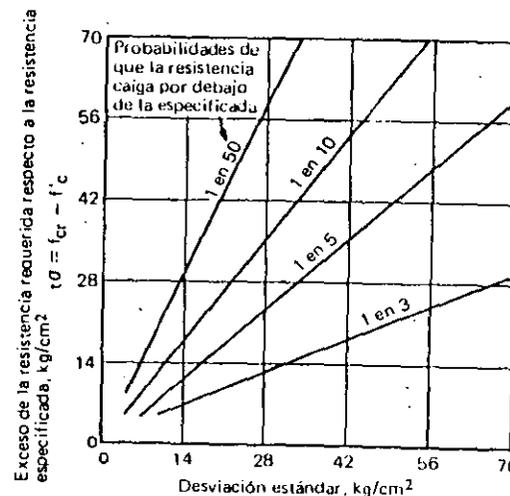


Fig. 4.1 (b).— Exceso de la resistencia promedio requerida f_{cr} respecto a la resistencia especificada f'_c para varias desviaciones estándar y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

$$f_{cr} = f'_c + t\sigma \quad (4-1a)$$

donde

- f_{cr} = resistencia promedio requerida
- f'_c = resistencia especificada de diseño
- t = una constante dependiendo de la proporción de pruebas que puede caer por debajo de f'_c (Tabla 4.1)
- V = valor preestimado del coeficiente de variación expresado en decimal
- σ = valor preestimado de la desviación estándar

Siempre que el promedio de un cierto número de pruebas n esté involucrado en la especificación, la Ec. (4-1) se modifica de la manera siguiente:

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{1 - \frac{tV}{\sqrt{n}}} \quad (4-1b)$$

y

$$f_{cr} = f'_c + \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4-1c)$$

La Fig. 4.1 (c) demuestra que conforme aumenta la variabilidad, también debe aumentar f_{cr} y con eso se demuestra la importancia, desde el punto de vista económico, de un buen control.

El requerimiento de por lo menos 30 resultados de prueba mencionado con anterioridad se basa en el dato de que los resultados de 25 o 30 pruebas seleccionados al azar, de una población distribuida normalmente, proporcionan cálculos del promedio de población y la desviación estándar que se puede utilizar como valor de la población. Si sólo está disponible un número reducido de resultados en el cual basar los cálculos, entonces los valores, en especial para la desviación estándar, no son confiables y no hay manera de determinar f_{cr} , por lo cual un porcentaje específico de pruebas futuras será superior a f'_c , suponiendo que los resultados de prueba actuales constituyan la única información disponible.

Si existe información previa relativa a concreto de la misma planta, que cumple con los requerimientos de similitud antes descritos, ésta se puede utilizar en la decisión de un valor de prueba de σ , que se utilizará para determinar la f_{cr} requerida.

Para obras pequeñas recién iniciadas, de las cuales no existe información previa disponible, debe diseñarse el concreto para producir una resistencia promedio f_{cr} de por lo menos 85 kg/cm² mayor que f'_c . Conforme avanza la obra y se puede disponer de más pruebas de resistencia, éstas se pueden analizar de manera simultánea para obtener un cálculo más confiable de la desviación

estándar y las Ecs. (4-1), (4-1a), (4-1b) y (4-1c) se pueden utilizar para calcular un valor de f_{cr} menos conservador.

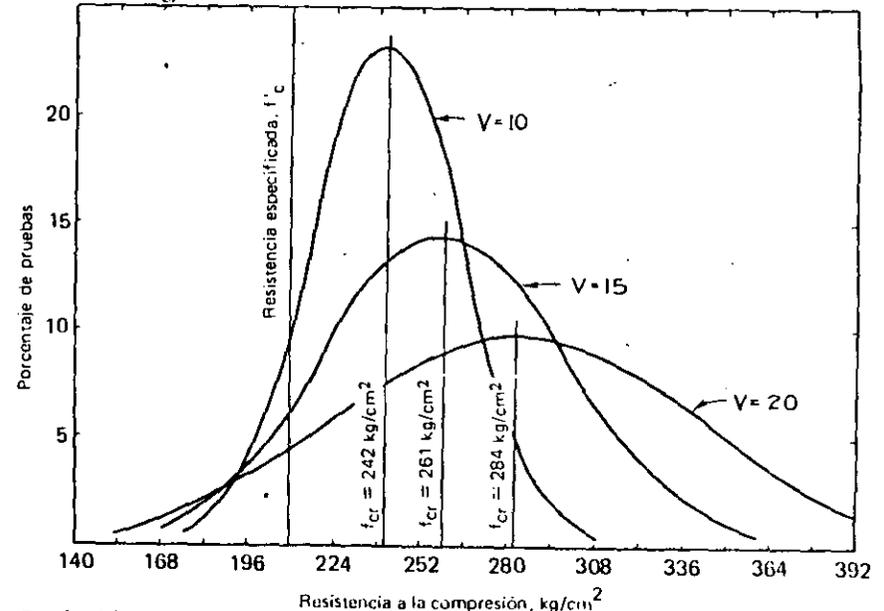


Fig. 4.1 (c).— Curvas normales de frecuencia para coeficientes de variación de 10, 15 y 20%.

TABLA 4.1.— VALORES DE t

Porcentajes de pruebas que caen dentro de los límites $X \pm t\sigma$	Probabilidades de que caigan por debajo del límite inferior	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

4.2. Criterios para los requerimientos de resistencia

La cantidad en la cual la resistencia promedio de una mezcla de concreto f_{cr} debe exceder de f'_c depende de los criterios que se utilicen en las especifica-

Método del coeficiente de variación.

Si se considera un coeficiente de variación del 15% y se utiliza la Ec. (4-1b) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f'_c}{1 - tV} \\
 &= \frac{300}{1 - \frac{2.33 (0.15)}{\sqrt{3}}} \\
 &= 376 \text{ kg/cm}^2.
 \end{aligned}$$

Utilizando este enfoque, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 376 kg/cm².

4.2.3. *Criterio No. 3.* Una cierta probabilidad de que una prueba de resistencia individual al azar sea más baja que una cantidad fijada por debajo de f'_c .

Este enfoque también se utiliza en las especificaciones del Comité ACI 318-71 al estipular que la probabilidad de que un resultado de prueba aleatorio inferior a $f'_c - 35$ kg/cm², debe ser de 1 en 100.

Como ejemplo, considérese una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia será más baja de 35 kg/cm² por debajo de una f'_c de 300 kg/cm².

Método de la desviación estándar

Si se considera una desviación estándar de 50 kg/cm² y se utilizan la Ec. (4-1a) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f'_c - 35 + t\sigma \\
 &= 300 - 35 + 2.33 (50) \\
 &= 381 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Como resultado, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 381 kg/cm².

Método del coeficiente de variación

Si se utilizan la Ec. (4-1) y la Tabla 4.1 y un coeficiente de variación del 15%, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f'_c - 35}{1 - tV} \\
 f_{cr} &= \frac{300 - 35}{1 - 2.33 (0.15)} \\
 &= 407 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Utilizando este enfoque, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 407 kg/cm².

4.2.4. *Criterio No. 4.* Una cierta probabilidad de que una prueba de resistencia individual al azar sea menor que un determinado porcentaje de f'_c .

Como ejemplo, considérese una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia será menor del 85% de un valor f'_c de 300 kg/cm².

Método de la desviación estándar

Si se utilizan la Ec. (4-1a) y la Tabla 4.1 y una desviación estándar de 50 kg/cm², se obtiene:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= 0.85 f'_c + t\sigma \\
 &= 0.85 (300) + 2.33 (50) \\
 &= 372 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Como resultado, la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 372 kg/cm².

TABLA 4.3.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS CONSECUTIVAS DE BAJA RESISTENCIA

1	2	3	4	5
Número de pruebas consecutivas promediadas	Los promedios inferiores a los indicados requieren investigación*			Probabilidad de promedios inferiores a f'_{cr} ** o/o
	Criterios para la selección original de f_{cr}			
	1 prueba de 10 por debajo de f'_c		1 prueba en 100 menor a $[f'_c - 35 \text{ kg/cm}^2]$	1 prueba en 10 por debajo de f'_c
	Para $V = 15\%$	Para una σ dada	Para una σ dada	
1	$0.86 f'_c$	$f'_c - 0.77 \sigma$	$f'_c - 35 + 0.76 \sigma$	10.0
2	$0.97 f'_c$	$f'_c - 0.17 \sigma$	$f'_c - 35 + 0.88 \sigma$	3.5
3	$1.02 f'_c$	$f'_c + 0.10 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.14 \sigma$	1.3
4	$1.05 f'_c$	$f'_c + 0.26 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.30 \sigma$	0.5
5	$1.07 f'_c$	$f'_c + 0.36 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.41 \sigma$	0.2
6	$1.03 f'_c$	$f'_c + 0.44 \sigma$	$f'_c - 35 + 1.49 \sigma$	0.1

* La probabilidad de porcentajes inferiores a los niveles indicados es aproximadamente del 2 por ciento si el promedio de población es igual a f_{cr} y la desviación estándar o el coeficiente de variación está en el nivel supuesto.
 ** Si el promedio de población es igual a f_{cr} y la desviación estándar o el coeficiente de variación está en el nivel supuesto.

Método del coeficiente de variación

Si se utilizan la Ec. (4-1) y la Tabla 4.1 y un coeficiente de variación del 15% se obtiene:

$$f'_{cr} = \frac{0.85 f'_c}{1 - tV}$$

$$= \frac{0.85 (300)}{1 - 2.33 (0.15)}$$

$$= 392 \text{ kg/cm}^2$$

4.3. Información adicional

La Tabla 4.3 proporciona información adicional. Los valores en el cuerpo de la tabla correspondientes a las columnas 2, 3 y 4 son los niveles de resistencia por debajo de los cuales, las pruebas individuales o los promedios de diferentes números de pruebas, normalmente no deben caer. Estos valores se basan en la premisa de que el concreto está proporcionado para producir una resistencia promedio igual a f_{cr} . Los valores de la columna 2 teóricamente son correctos sólo para concreto con un coeficiente de variación del 15%. Los de las columnas 3 y 4 se aplican a cualquier desviación estándar conocida. En cualquier caso, la probabilidad de que sean excedidos estando bien controlado el concreto es aproximadamente de 0.02. De este modo, la falta de cumplimiento con los límites calculados en una mayor proporción de casos que la estipulada, puede ser un indicio de que la resistencia promedio presente es menor a f_{cr} o de que σ o V han aumentado. Esto puede ser el resultado de una resistencia más baja o de un control más deficiente que el previsto, o de ambos. No se debe ignorar la posibilidad de que los resultados bajos de las pruebas pueden ser ocasionados por errores de muestreo o durante la prueba más que por deficiencias del concreto en sí. En cualquier caso se impone una acción correctiva.

La columna 5 ilustra la probabilidad de que el promedio de cualquier número determinado de pruebas consecutivas no iguale a f'_c , o lo exceda si el concreto está proporcionado para obtener una resistencia promedio igual a f_{cr} . Se puede ver que al aumentar el número de pruebas por promediar se incrementa la posibilidad de que se exceda f'_c , ya que las variaciones tienden a equilibrarse mediante un número mayor de pruebas en un grupo dado. Para poner esto en vigor, es correcto y lógico seleccionar el número de pruebas consecutivas por promediar, de tal manera, que el nivel de aceptación sea igual a f'_c . Esto significaría un promedio de tres pruebas consecutivas de concreto entre las cuales a una de cada diez pruebas se le permitiría caer por debajo de f'_c . No obstante, debe recordarse que, según la teoría estadística supuesta en la derivación de los valores, sólo una vez de cada 50 pueden esperarse fallas ocasionales como ésta, aun si el concreto está sujeto a un control exactamente igual al previsto y está sobrediseñado para obtener una resistencia promedio igual a f_{cr} .

La mayoría de las especificaciones para la resistencia del concreto requieren que una prueba comprenda dos o tres cilindros de la misma mezcla de concreto. Los cilindros son necesarios para obtener un promedio confiable de una mezcla dada y para proporcionar datos de intervalo R y así determinar las variaciones inherentes a dicha mezcla.

4.4. Cartas de control de calidad

Durante muchos años las industrias manufactureras han utilizado las cartas de control de calidad, como una ayuda para reducir la variabilidad e incrementar la eficiencia en la producción. En el Manual de control de calidad de

los materiales de la ASTM⁴ están perfectamente establecidos los métodos para regular dichas gráficas y están delineados de manera conveniente. Con base en los patrones de resultados previos y de límites en él establecidos, tan pronto como se tienen los nuevos resultados, surgen las nuevas tendencias. Aquellos puntos que sobrepasan los límites calculados indican que algo ha afectado al control del proceso. Estas cartas se recomiendan donde quiera que exista una producción continua de concreto a lo largo de períodos considerables de tiempo.

En la Fig. 4.4 se ilustran tres cartas simplificadas específicamente preparadas para el control del concreto. Aun cuando éstas no contienen todas las características de las cartas de control acostumbradas, pueden resultar útiles al ingeniero, al arquitecto y al superintendente de la planta. A continuación se describen dichas cartas:

- a) *Carta para pruebas individuales de resistencia* en la cual se trazan los resultados de las pruebas de resistencia conforme se reciben. La línea de la resistencia promedio requerida se establece de acuerdo con la Ec. (4-1a) o la Tabla 4.3 y la línea de la resistencia de diseño especificada.
- b) *El promedio variable para la resistencia a la compresión*, en la cual se traza el promedio de los cinco grupos previos de dos cilindros compañeros para cada día o cada turno y, en este caso, la resistencia especificada constituye el límite inferior. Esta carta sirve para indicar las tendencias y mostrará la influencia de los cambios climatológicos, los cambios de materiales, etc. Se puede variar el número de pruebas promediadas para trazar los promedios variables con un límite inferior apropiado para adaptarse a cualquier obra.
- c) *El promedio variable para un intervalo* en la cual el intervalo promedio de los diez grupos previos de cilindros compañeros se traza cada día o cada turno. También se traza el máximo intervalo promedio permisible para un buen control de laboratorio. El intervalo máximo promedio se determina tal como se estableció en la Sección 4.5.

La Fig. 4.4 ilustra las cartas (a), (b) y (c) para 46 pruebas. Para que las cartas sean completamente efectivas, deben mantenerse a lo largo de toda la obra.

4.5. Pruebas y cilindros requeridos

Para cualquier trabajo en particular debe hacerse un número suficiente de pruebas a fin de asegurar la exacta representación de las variaciones del concreto. Las pruebas del concreto se pueden realizar, ya sea con base en el tiempo transcurrido, o en el volumen de concreto colocado, y las condiciones prevalecientes en cada obra determinarán el método más práctico para obtener el número necesario de pruebas. Una prueba se define como la resistencia promedio de

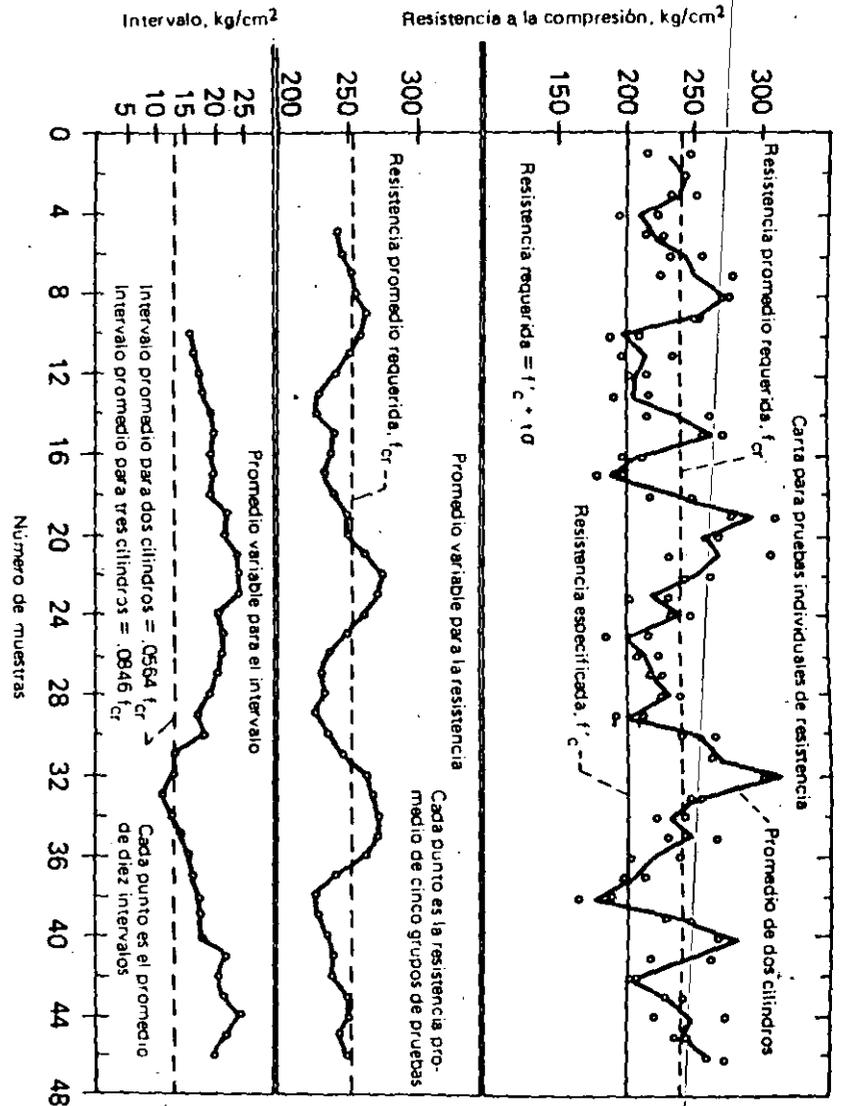


Fig. 4.4.- Cartas de control de calidad para el concreto

todos los cilindros de la misma edad, fabricados de una sola muestra tomada de un volumen de concreto.

Un proyecto en el cual todas las operaciones del concreto están bajo la supervisión de un ingeniero, proporciona una excelente oportunidad para ejercer control y para obtener cálculos correctos de confiabilidad, con un mínimo de pruebas. Una vez que las operaciones se están llevando a cabo sin tropiezos, es suficiente con efectuar pruebas a diario o en cada turno, dependiendo del volumen de concreto producido, para obtener los datos que reflejan las variaciones en el concreto de la estructura. En términos generales, es aconsejable efectuar el suficiente número de pruebas para que cada distinto tipo de concreto colocado en el curso de un día determinado, esté representado por lo menos en una prueba que constituya el promedio de dos cilindros estándar de 15 x 30 cm, que hayan sido probados a la edad requerida. Los cilindros aislados tomados de dos volúmenes diferentes cada día proporcionarán más información confiable acerca de las variaciones totales, pero por lo general, es deseable hacer cilindros compañeros del mismo muestreo, para obtener una rectificación de las variaciones durante la prueba.

El número de cilindros que puede requerir el ingeniero o el arquitecto debe estar basado en normas establecidas, pero puede reducirse conforme se estabiliza la confianza del productor, del laboratorio y del contratista.

El laboratorio tiene la responsabilidad de efectuar pruebas precisas y el concreto se penalizará innecesariamente si las pruebas muestran variaciones mayores o niveles de resistencia promedio más bajos que los que en realidad existen. Puesto que puede suponerse que la determinación del intervalo entre cilindros compañeros del mismo muestreo, es responsabilidad del laboratorio, éste debe mantener una gráfica de control de intervalos, para rectificar la uniformidad de sus operaciones (Fig. 4.4). Debe hacerse notar que estos intervalos no revelarán las diferencias de día en día en las pruebas, el curado y el procedimiento de cabeceado o el método de prueba, los cuales afectan los niveles de resistencia a lo largo de extensos períodos. El intervalo entre cilindros compañeros depende del número de especímenes en el grupo y de la variación dentro de la prueba. Esta relación se expresa mediante la siguiente ecuación Véanse las Ecs. [(3.4) y (3.5)]

$$\bar{R}_m = f_{cr} V_1 d_2 \quad (4.2)$$

donde \bar{R}_m es el intervalo promedio en la carta de control (c) de la Fig. 4.4. El coeficiente de variación V_1 dentro de la prueba no debe ser superior al 5%, para un buen control (Tabla 3.5), y el cálculo del intervalo promedio correspondiente será:

$$\bar{R}_m = (0.05 \times 1.128) f_{cr} = 0.05640 f_{cr}$$

para grupos de dos cilindros compañeros

$$\bar{R}_m = (0.05 \times 1.693) f_{cr} = 0.08465 f_{cr}$$

para grupos de tres cilindros compañeros.

A un cilindro de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura que ha sido curado con humedad durante 28 días a 21°C, por lo general se le considera como espécimen estándar de tamaño nominal para control y resistencia del concreto si el agregado grueso no excede de 50 mm. En muchas ocasiones, especialmente en las etapas iniciales de una obra, se hace necesario calcular la resistencia del concreto que se está produciendo, antes de que los resultados de la resistencia a los 28 días de edad estén disponibles. Los cilindros tomados del mismo volumen de concreto deben fabricarse y probarse a los 7 días, o antes, utilizando procedimientos de pruebas aceleradas. Se puede calcular la resistencia a los 28 días mediante la extrapolación de valores de las pruebas mencionadas.

Es más realista la resistencia del concreto a edades más avanzadas, en especial en donde se utiliza un cemento puzolánico o uno de lenta ganancia de resistencia, que la resistencia estándar a los 28 días. Algunas estructuras no se cargarán sino hasta que al concreto se le haya permitido madurar durante un lapso de tiempo más largo y se puede obtener ventaja de la ganancia de resistencia después de los 28 días. Se ha encontrado que algunos concretos producen menos del 50 por ciento de su resistencia última a los 28 días de edad. Si el diseño se basa en la resistencia a edades avanzadas, es necesario correlacionar estas resistencias con las de cilindros de 28 días, ya que no es práctico utilizar cilindros de edad más avanzada para la aceptación del concreto. De ser posible, la correlación debe establecerse mediante pruebas de laboratorio antes de iniciar la construcción. Si las plantas de mezclado están localizadas en un lugar determinado es aconsejable establecer esta correlación para períodos de tiempo lo suficientemente largos, como referencia, aunque la resistencia del concreto de edad avanzada no sea de inmediato necesaria.

En algunas ocasiones se recomienda el curado de los cilindros de prueba en el lugar y en las condiciones de la obra, puesto que los resultados se consideran más representativos del curado aplicado a la estructura. Estas pruebas especiales no reemplazan a las pruebas de control estándar ni tampoco debe confundirse con ellas. Las pruebas de cilindros curados en el lugar de la obra pueden ser altamente deseables y son necesarias cuando se debe determinar el momento para descimbrar, especialmente en clima frío y cuando hay que establecer la resistencia de tubos, bloques y elementos estructurales de concreto curado con vapor.

La resistencia potencial y la variabilidad del concreto se pueden establecer con cilindros estándar de 15 x 30 cm fabricados y curados en condiciones estándar. Los cilindros para determinar la resistencia del concreto fabricados o curados en condiciones diferentes a las normales, proporcionan información adicional, pero deben probarse y reportarse por separado.

4.6. Rechazo de cilindros dudosos

La práctica del rechazo arbitrario de los cilindros de prueba que parecen estar "totalmente fuera de línea" no se recomienda, ya que el patrón normal de probabilidades establece la posibilidad de esa clase de resultados. El descartar las pruebas de manera indiscriminada podría distorsionar seriamente la distribución de la resistencia, haciendo menos confiable el análisis de resultados.

Ocasionalmente llega a suceder que la resistencia de un cilindro perteneciente a un grupo de cilindros de una misma muestra, se desvía tanto de la media, que resulta altamente improbable. Se recomienda descartar un cilindro de una prueba de tres o más de ellos, si su desviación respecto de la media de la prueba es superior a 3σ y debe considerársele sospechosa si su desviación es superior a 2σ . Si durante la fabricación, el curado, o la prueba de un cilindro se han observado variaciones dudosas, dicho cilindro debe ser descartado. El promedio de la prueba debe calcularse a partir de los cilindros restantes.

Una prueba (promedio de todos los cilindros de una muestra) no debe ser rechazada jamás, a menos que se sepa que los cilindros están defectuosos, puesto que representa la mejor estimación disponible para esa muestra.

CAPITULO 5
REFERENCIAS

1. Natrella, M. G., "Experimental Statistics", Handbook No. 91, U.S. Department of Standards, *National Bureau of Standards*, Washington, D.C., 1963, pp. 1-4 a 1-6.
2. Realism in the Application of ACI Standard 214-65, SP-37, *American Concrete Institute*, Detroit, 1973, 215 pp.
3. "Evaluation of Strength Tests of Concrete", ACI Bibliography No. 2, *American Concrete Institute*, Detroit, 1960, 13 pp.
4. ASTM Manual on Quality Control of Materials, STP 15-C, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, Ene. 1951, 127 pp.
5. Neville, A.M., "The Relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes", *Magazine of Concrete Research* (Londres), V. 11, No. 32, Julio 1959, pp. 75-84.
6. Metcalf, J. B., "The Specification of Concrete Strength, Part II, The Distribution of Strength of Concrete for Structures in Current Practice", RRL Report No. LR 300, *Road Research Laboratory*, Crawthorne, Berkshire, 1970, 22 pp.
7. Murdock, C. J., "The Control of Concrete Quality", Proceedings, *Institution of Civil Engineers* (Londres), V. 2, Part I, Julio 1953, pp. 426-453.
8. Ertroy, H. C., "The Variation of Works Test Cubes", Research Report No. 10, *Cement and Concrete Association*, Londres, Noviembre 1960, 28 pp.
9. Rüsck, H., "Statistical Quality Control of Concrete", *Materialprüfung* (Düsseldorf), V. 6, No. 11, Noviembre 1964, pp. 387-394.
10. "Tentative Recommended Practice for Conducting and Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods for Construction Materials", (ASTM C 802-74T), 1975 Annual Book of ASTM Standards, Part 13, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, pp. 414-443.

ciones de un proyecto en particular. Los siguientes son ejemplos de cálculo que tendrían que hacerse para seleccionar las resistencias de diseño de una mezcla que cumpliera con los requerimientos de algún reglamento, o alguna especificación en particular.

4.2.1. *Criterio No. 1.* Una proporción máxima definida de pruebas de resistencia individuales aleatorias, a las cuales se les permite caer por debajo de f'_c en promedio.

La norma ASTM C94-74 utiliza un criterio similar. Para el concreto en estructuras diseñado mediante el método de resistencia última, la ASTM recomienda que no más del 10% de las pruebas de resistencia contengan valores menores a la resistencia especificada f'_c .

Como ejemplo, considérese la situación en la cual a no más de 1 en 10 de las resistencias individuales seleccionadas al azar se les permitirá caer por debajo de un valor f'_c de 300 kg/cm².

Método de la desviación estándar

Considérese un control de calidad óptimo tal como se indica mediante una desviación estándar de 30 kg/cm². Utilizando la Ec. (4-1a) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c + t\sigma \\ &= 300 + 1.28 \times 30 \\ &= 338 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Como resultado, para un diseño estructural de resistencia f'_c de 300 kg/cm², la mezcla de concreto debería estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 338 kg/cm². Nótese que el coeficiente de variación es:

$$\left(\frac{30}{338}\right) \times 100 = 8.8$$

Método del coeficiente de variación

Considérese un buen control de calidad tal como se indica mediante un coeficiente de variación del 10%. Utilizando la Ec. (4-1) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{1 - tV}$$

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{f'_c}{1 - 1.28(0.10)} \\ &= 1.15 f'_c \quad \left[\text{véase también la Fig. 4.1 (a)} \right] \\ &= 345 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Utilizando este enfoque y estos datos, la mezcla de concreto debería estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 345 kg/cm².

4.2.2. *Criterio No. 2.* Una cierta probabilidad de que un promedio de n pruebas de resistencia consecutivas caerá por debajo de f'_c .

El Comité ACI 318-71 sugiere que una vez que se encuentren disponibles suficientes resultados de pruebas de un proyecto determinado, la frecuencia de ocurrencia de los promedios de tres pruebas consecutivas por debajo de f'_c no deberá exceder 1 en 100.

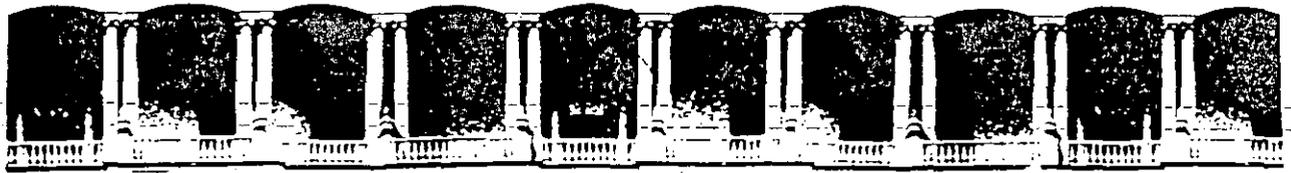
Como ejemplo, considérese la situación en la cual a no más de 1 en 100 de los promedios de tres pruebas de resistencia consecutivas se les permitirá caer por debajo de un valor f'_c de 300 kg/cm².

Método de la desviación estándar

Considérese una desviación estándar de 50 kg/cm². Utilizando la Ec. (4-1c) y la Tabla 4.1, se obtiene:

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c + \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \\ &= 300 \text{ kg/cm}^2 + \frac{2.33 (50)}{\sqrt{3}} \\ &= 367 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Como resultado, para un diseño estructural de resistencia f'_c de 300 kg/cm², la mezcla de concreto deberá estar proporcionada para una resistencia promedio no menor de 367 kg/cm².



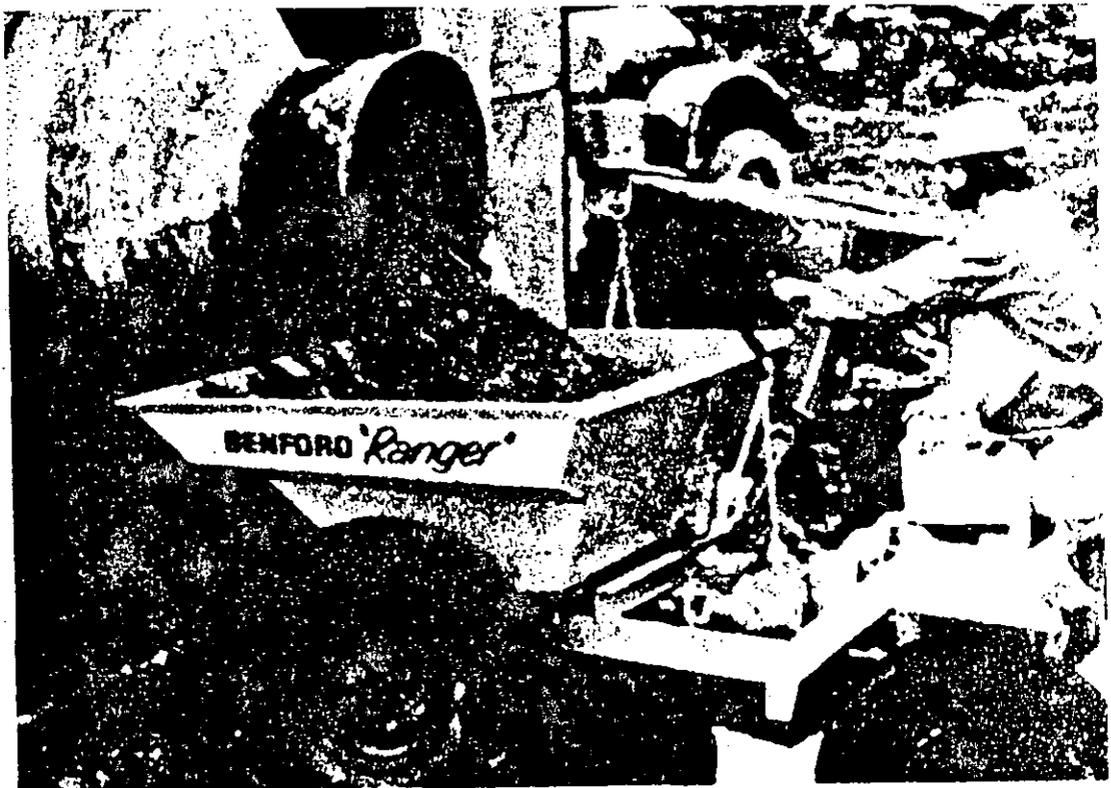
**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

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

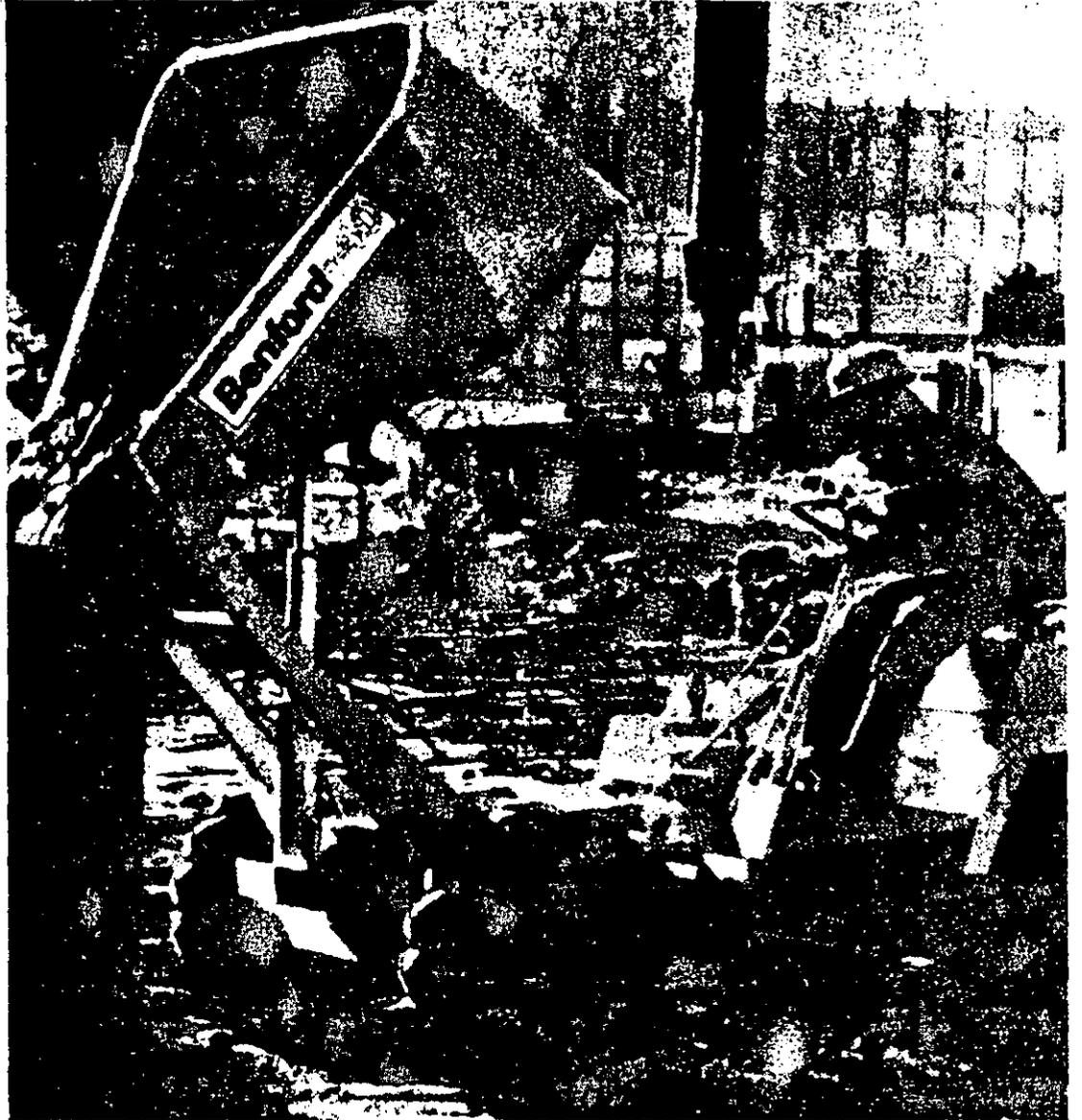
DEL 14 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1994

TRANSPORTE Y COLOCACION.

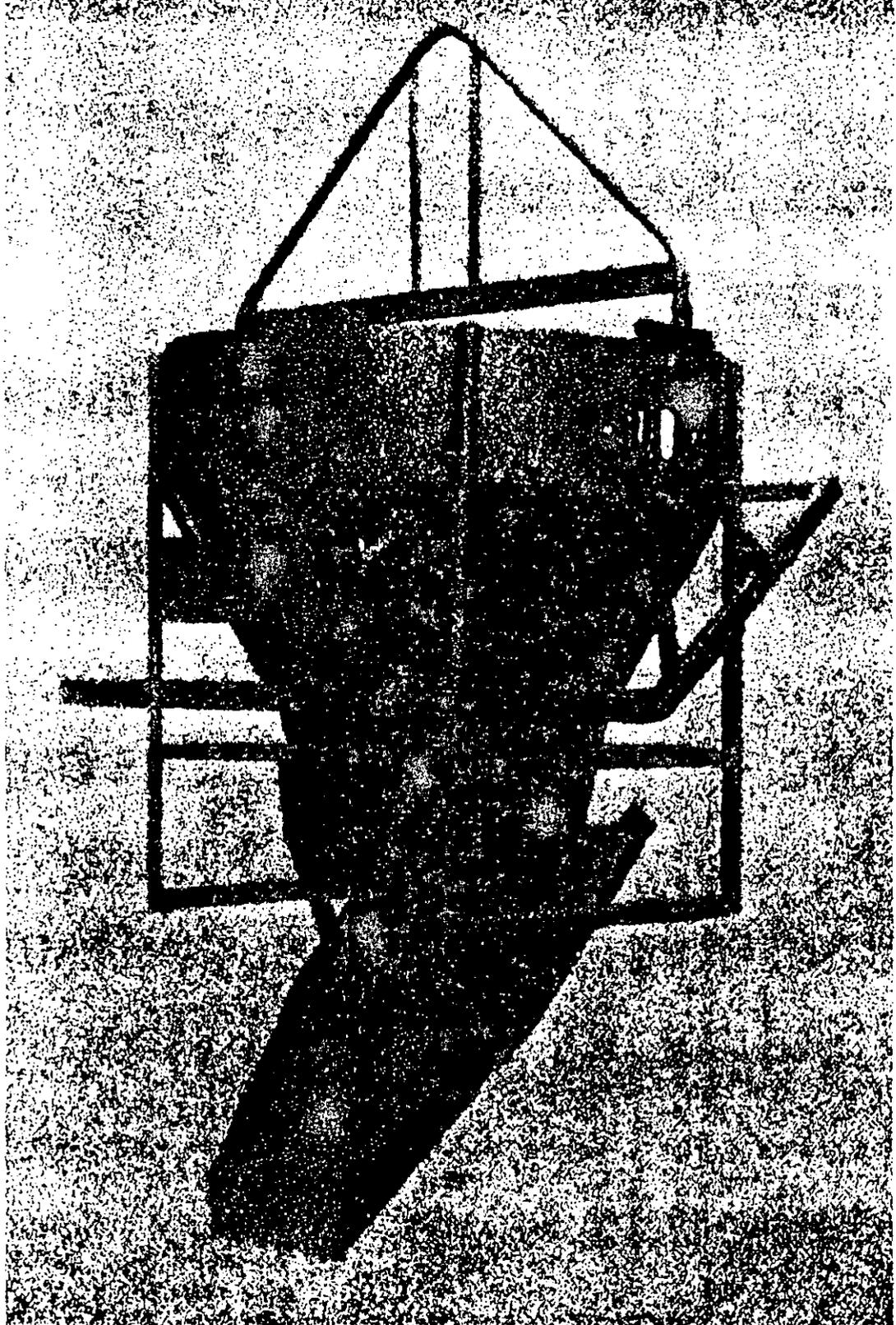
Expositor: Ing. Jesús T. Salgado Ortíz.



Buggie (capacidad de 0.5 m³) recibiendo concreto de una mezcladora de tambor re-



Buggie con tolva móvil de alta descarga (capacidad de 0.75 m³).



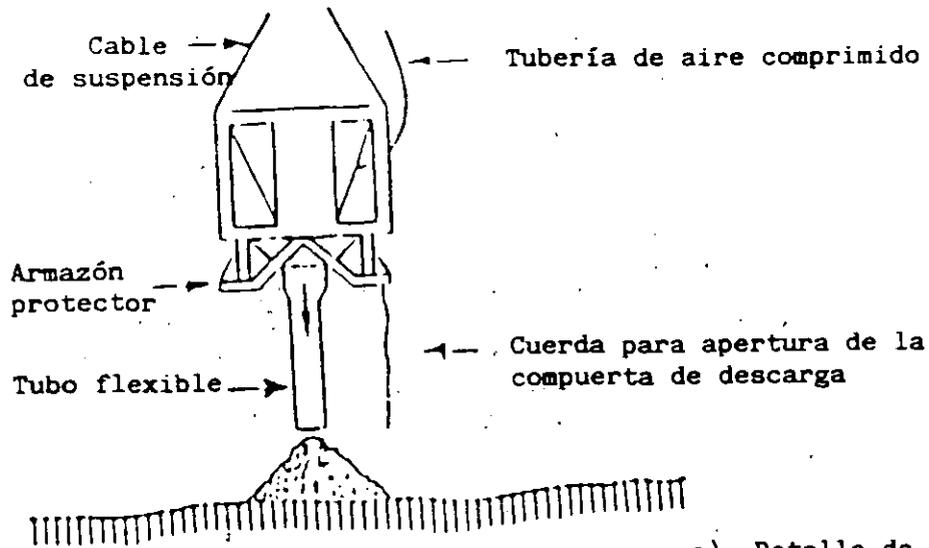
Tolva móvil de posición fija, con abertura inferior y canalón de descarga lateral.



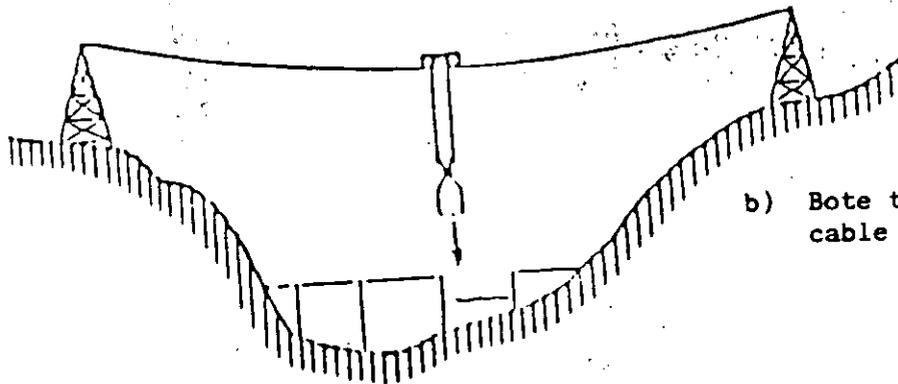
Tolva móvil de volteo (capacidad 0.75 m^3) con mecanismo de descarga de cierre de mordaza y abertura lateral con control de rueda.

5 ✓

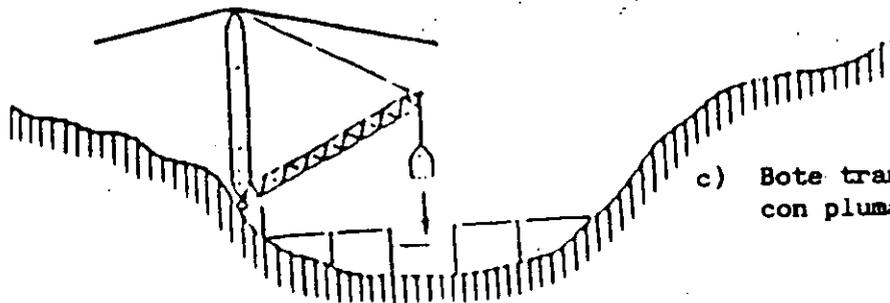
Botes: Recipientes metálicos de forma tronco-cónica con descarga por la parte interior y carga por la parte superior que permite el manejo de mezclas secas. Acarreo por suspensión mediante cables (grúas, plumas, cable vía, dragas, etc.) que da grandes ventajas de operación.
Capacidad de 0.8 a 9 m³ de concreto.



a) Detalle de un bote para concreto



b) Bote transportado con cable vía

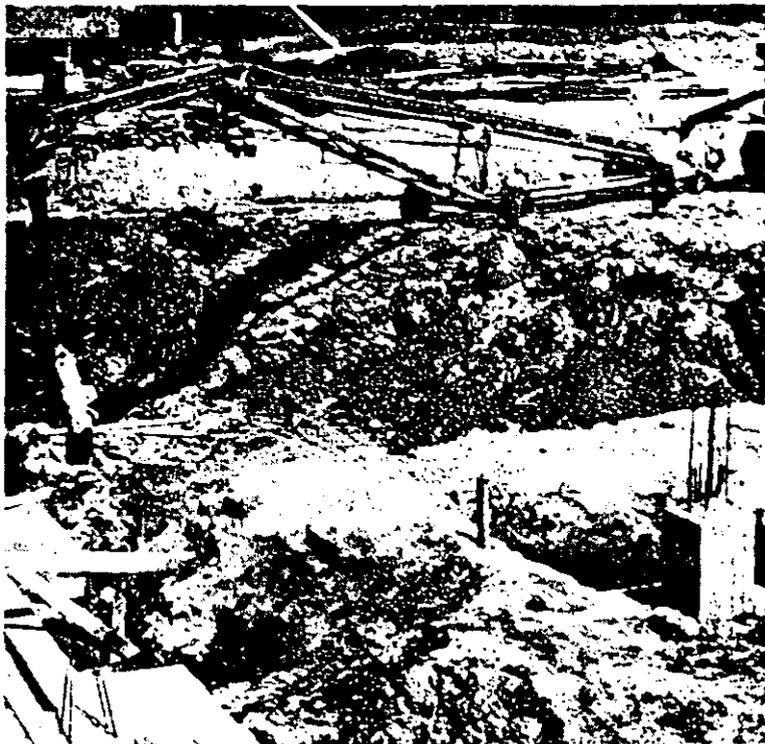


c) Bote transportado con pluma

Transporte y colocación de concreto con botes de compuerta inferior de descarga.

Colocación de concreto por medio de bandas transportadoras

Aplicaciones de los transportador



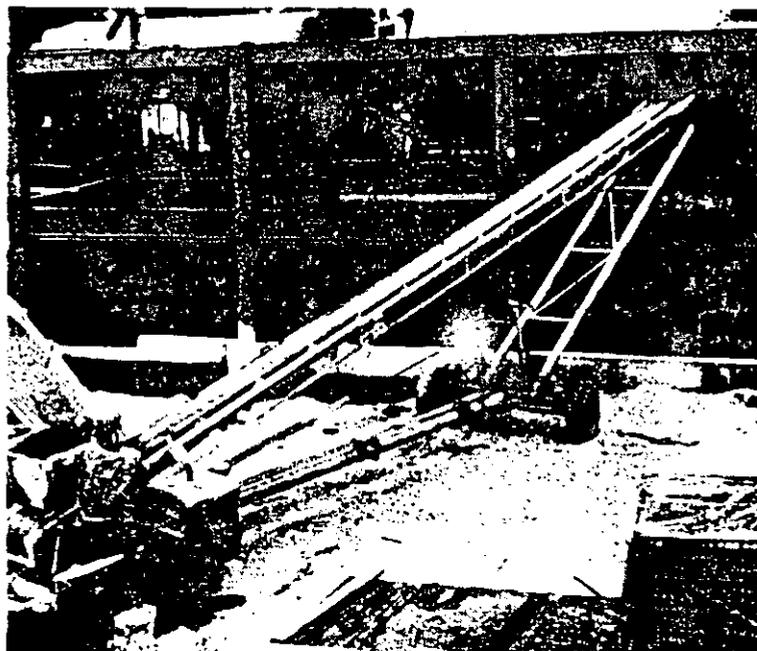
Losas bajo el nivel del suelo



Cubiertas



Muros

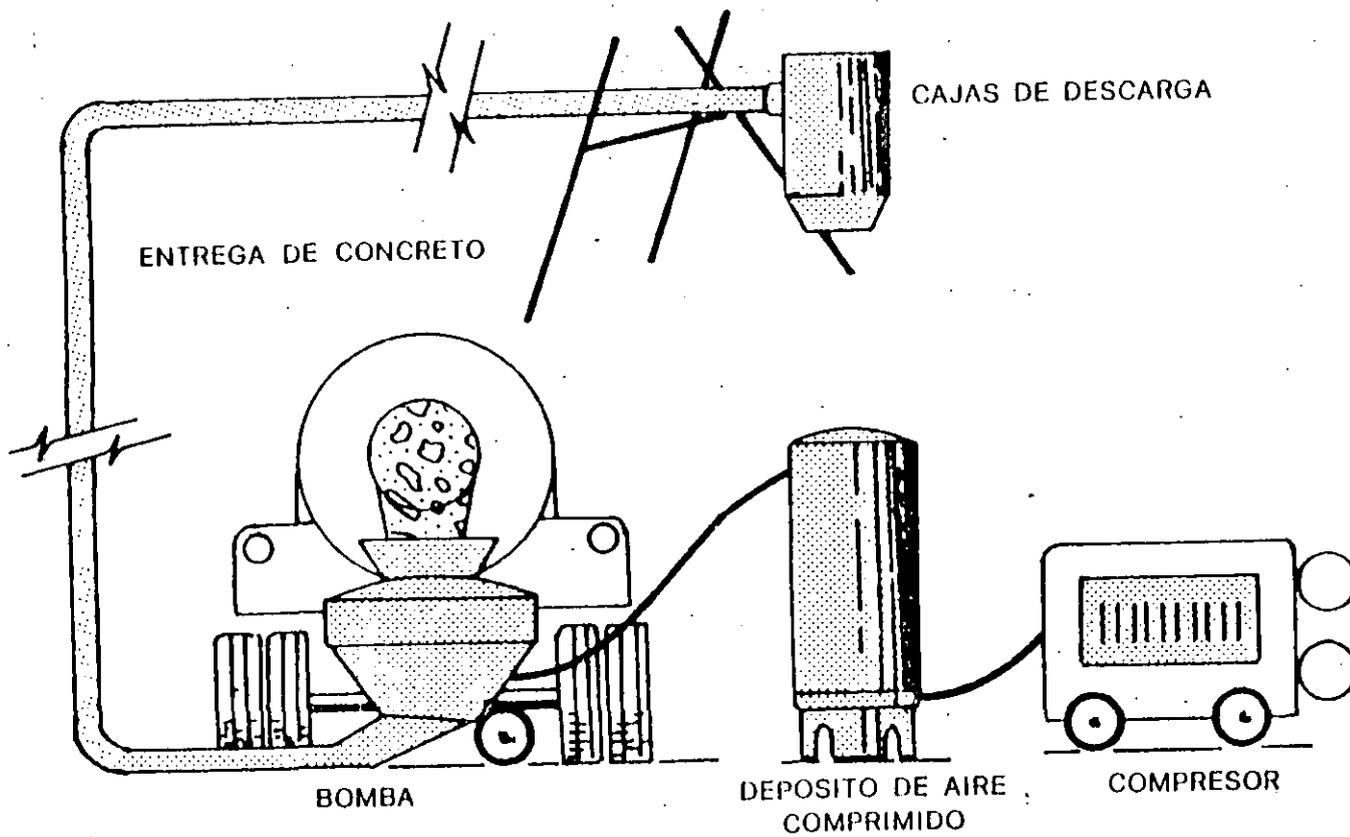


Pisos



La válvula de entrada se abre cuando la válvula de descarga está cerrada y el concreto se introduce en el cilindro por gravedad y por la succión del pistón. Cuando el pistón avanza se cierra la válvula de entrada, la válvula de descarga se abre, y el concreto es empujado por la tubería hacia la cimbra.

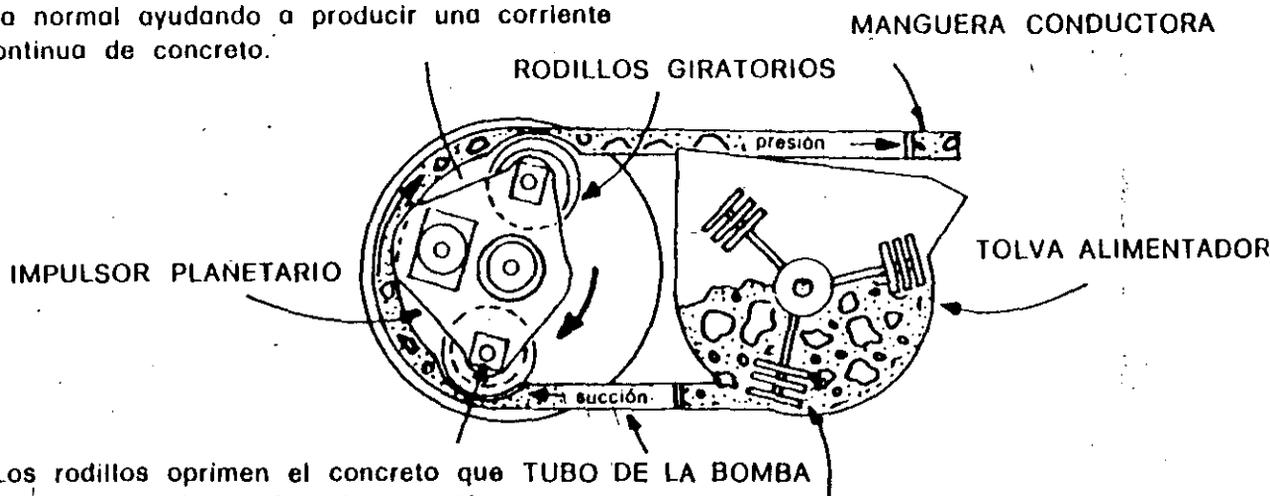
Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo de pistón.



El compresor llena de aire comprimido el tanque, que empuja el concreto en la bomba o través de la tubería.

Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo neumático.

El enrarecimiento del aire que se mantiene en la cámara de la bomba vuelve el tubo a su forma normal ayudando a producir una corriente continua de concreto.



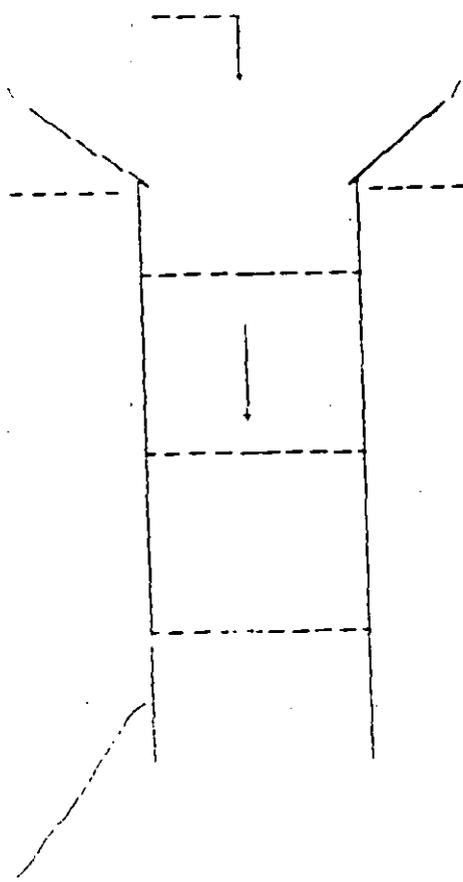
Los rodillos oprimen el concreto que se encuentra dentro del tubo empujándolo hacia la manguera de conducción.

Aspas giratorias que empujan el concreto al tubo de la bomba.

Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo de retacado.

* El término Squeeze se tradujo como retacado.

TUBO - EMBUDO (TREMIE)



NIVEL DE AGUA

CONCRETO

SECCIONES DE 1/2 A 3 m DE H.

- 4 = 8 VECES T.M.A.
- TRAMOS DE 3 m.
- EQUIPO DE LEVANTAMIENTO DISPONIBLE
- LEVANTAMIENTO DE 15 l 60 cm (SACAR TUBO)
- FLUIDEZ MEZCLA DE 15-25 cm REV.
- DE PREFERENCIA GRAVA REDONDEADA D 2 Y 1 1/2
- RELACIONES G/A = 1
- USO ADITIVOS RETARDANTES DE FRAGUADO.
- A 21 m DE PROFUNDIDAD TUBO AHOGADO.
- DEMORAS MAYORES A 5 MIN. INDESEABLES.
- SEPARACIONES DE UN TUBO POR CADA m².

EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE

a.

Carretillo o canaletta

Carretillo o canaletta

CORRECTO

INCORRECTO

Descárguese el concreto en un colector con una manguera ligera y flexible. Esto evita la segregación. La cimbra y el acero están limpias hasta que las cubre el concreto.

Permite que el concreto del canchón a la carretillo se apoye contra la cimbra y resbale en las varillas y la cimbra causando segregación y huecos en el fondo.

COLOCANDO CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS

b.

Revenimiento constante

El revenimiento se reduce conforme se va llenando la cimbra.

CORRECTO

INCORRECTO

Necesariamente el concreto es más húmedo en el fondo de las bóvedas, patines y pilindas y lo más que puede hacerse es evitarlo en la parte superior. El aumento de agua tiende a igualar la calidad del concreto. La contracción por asentamiento es mínima.

Usar el mismo revenimiento en la parte superior como se requiere en el fondo del colado. Un alto revenimiento en la parte superior produce un exceso de agua y de colocación por pérdida de calidad y durabilidad en la capa superior.

CONSISTENCIA DEL CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS

c.

Manguera portátil que descansa en una bolsa o en una abertura de la cimbra.

Mortero

Roca

CORRECTO

INCORRECTO

Bolsa

Manguera portátil que descansa en una bolsa o en una abertura de la cimbra.

Roca

CORRECTO

INCORRECTO

Caída vertical del concreto en bolsas exteriores debajo de cada abertura de la cimbra, permitiendo que el concreto se detenga y fluya fácilmente a la cimbra sin segregación.

Permitir que el concreto fluya a gran velocidad dentro de las cimbras, o que forme un ángulo con la vertical. Esto invariablemente resulta en segregación.

COLOCACION EN PAREDES PROFUNDAS O CUBAS A TRAVÉS DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA

d.

Cubo manejado por grúa y que permanece unido a ella.

Aire comprimido de la grúa para la compuerta del cubo.

Estructura para proteger de daños el cono del colector.

El cono del colector en la base de la compuerta del cubo unido permanentemente a la estructura.

Cuerda para operar la compuerta neumática desde la cimbra.

Conducto de caída flexible conectado al cono del colector. El conducto se dobla en plano cuando no está cayendo nada de concreto permitiendo que se le emplee para el menor tamaño de agregado, además de ser lo suficientemente grande para el mayor.

COLOCACION DE CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS

Fig. 6.1 (a-d) Métodos correctos e incorrectos de colocar concreto.

EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SEA DEPOSITADO ADECUADAMENTE EN LAS CIMBRAS.

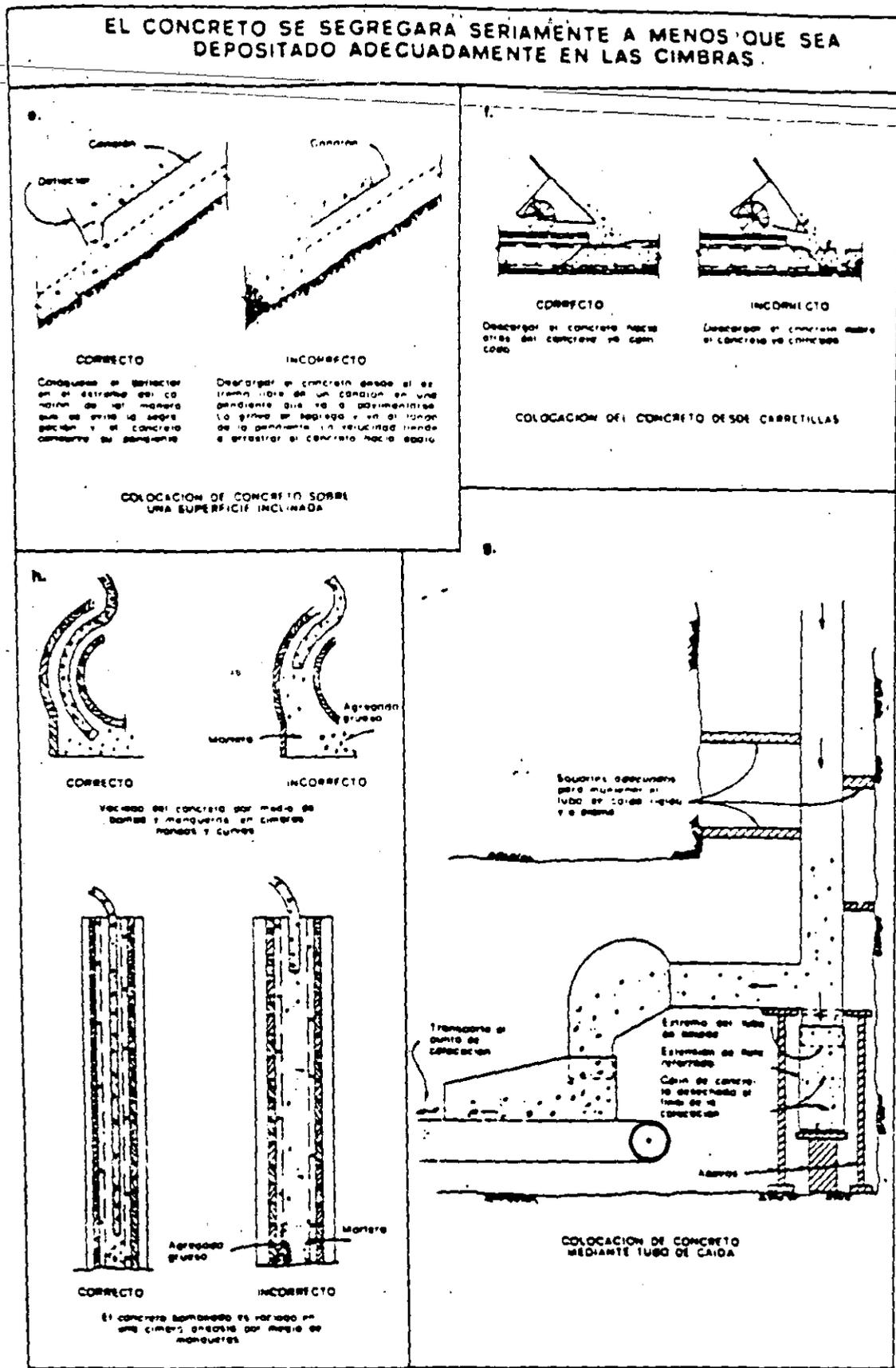
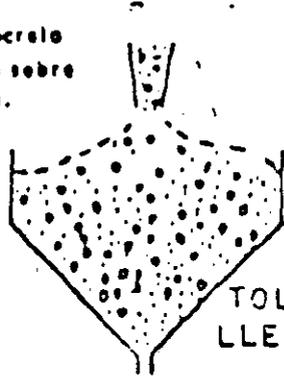


Fig. 6.1 (a-h) Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.

Caída del concreto directamente sobre la compuerta.



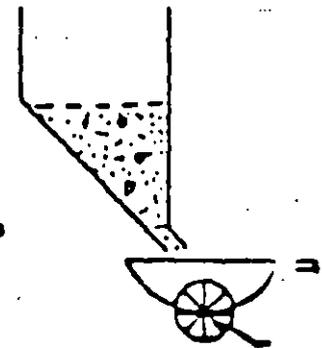
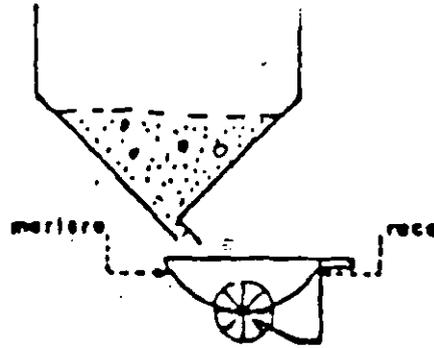
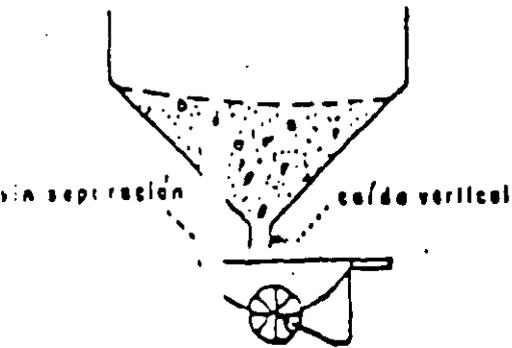
CORRECTO

Caída del concreto en los bordes de la tolva.



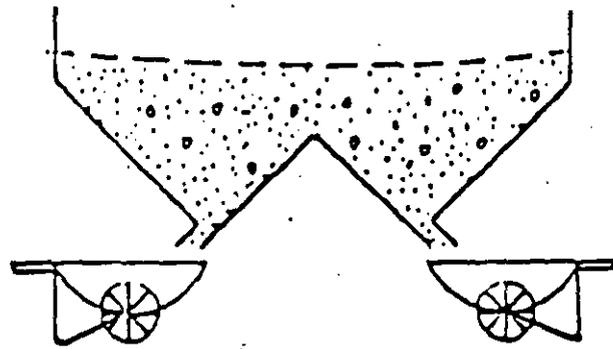
INCORRECTO

TOLVAS O CUBOS LLENOS DE CONCRETO



CORRECTO

Descarga por la abertura central para caer verticalmente en el centro del carro. La entrada alternada permite cargar a la misma velocidad que con tolvas divididas en 2 compuertas de salida las cuales son...



INCORRECTO

Compuertas inclinadas de salida que en realidad son canalitas sin control de salida y causan segregación objetable al llenar los carros.

DESCARGA DE LAS TOLVAS PARA CARGAR EL CONCRETO EN LOS CARROS

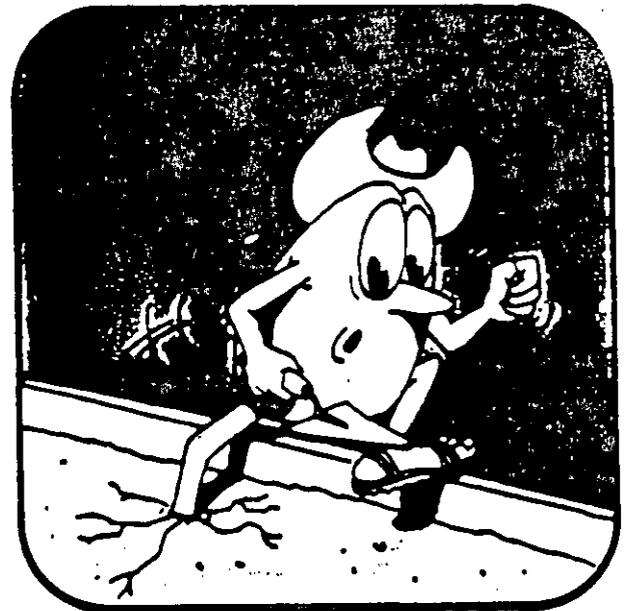
II. 1.—¿QUE CONSIDERACIONES SON IMPORTANTES DURANTE EL MANEJO DEL CONCRETO?



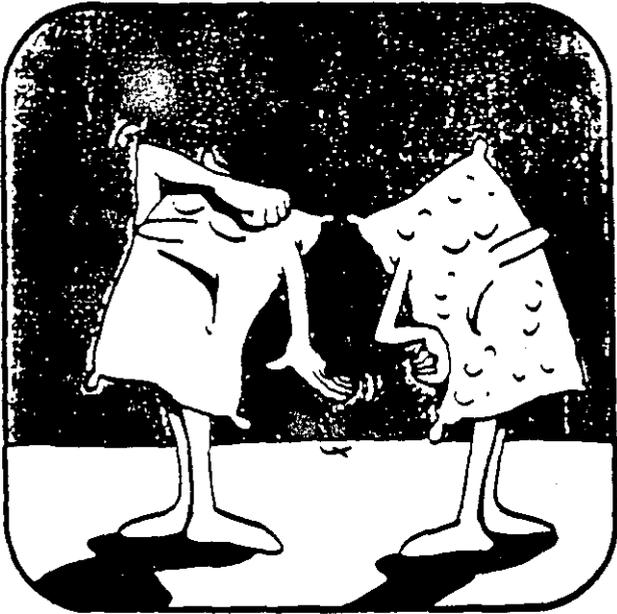
Se debe buscar que éste conserve sus características originales, hasta el momento en que quede colocado en las formas.

II. 2.—¿QUE ASPECTOS DEBEN VIGILARSE AL REALIZAR EL MANEJO DEL CONCRETO FRESCO?

Lo más importante es que no se presente segregación de sus componentes, asimismo deberá colocarse el concreto en el lapso adecuado para evitar su endurecimiento.



II. 3.—¿QUE ES LA SEGREGACION?



Es el fenómeno que se presenta al separarse el mortero y el agregado grueso.

II. 4.—¿QUE CONSECUENCIA PUEDE TENER LA SEGREGACION?

Donde exista acumulación de grava, se tendrá mayor dificultad en su colocación propiciándose la formación de oquedades; donde se tenga concentración de mortero, es probable que se presenten agrietamientos. En ambos casos el resultado será una disminución de la resistencia.



II-5. — ¿COMO SE PUEDE EVITAR O DISMINUIR
AL MAXIMO LA SEGREGACION?



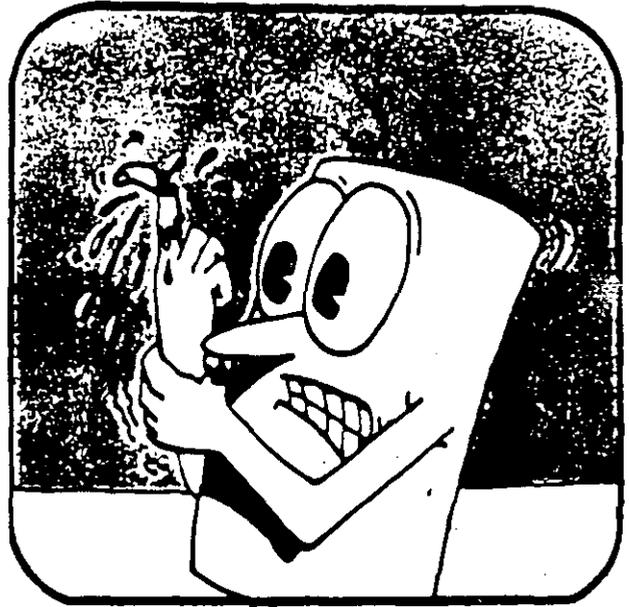
Mediante equipos de bombeo, reduciendo la manipulación del concreto y en general, utilizando procedimientos adecuados de colocación, tales como los que se enlistan a continuación y que se dan en función de la trabajabilidad del concreto; por ser esta la característica de mayor influencia en este proceso.

Rango de Revenimiento cm.	EQUIPO RECOMENDABLE PARA TRANSPORTE	
	HORIZONTAL	VERTICAL
0 a 8	Carretilla, Vuguie, Banda*	Vuguie, cubeta, banda*
8.1 a 12	Carretilla, Vuguie, canalón*	Vuguie, cubeta, canalón*
12.1 a 16	Canalón*, bomba, impulsor neumático.	Cubeta, canalón* bomba, impulsor neumático.
16.1 a 20	Canalón*, bomba, impulsor neumático.	Cubeta, canalón* bomba, impulsor neumático, trompa de elefante.

* Se emplea en posición indicada con pendiente suave.

II. 6.—¿EXISTE OTRA MANIFESTACION
APARTE DE LA SEGREGACION?

Sí, también puede presentarse la separación del agua, cuando ésta aflora a la superficie libre del concreto o sea el efecto llamado "sangrado". Este fenómeno es natural siempre y cuando no sea excesivo.



II. 7.—¿PRESENTA ALGUNA CONSECUENCIA ADVERSA
EL SANGRADO EXCESIVO DEL CONCRETO?

Sí, ya que al subir el agua a la superficie, forma tubificaciones que quedan permanentes al endurecer el concreto y esto afecta la impermeabilidad del mismo. Además reduce la resistencia superficial del concreto.



II. 8.—¿COMO SE PUEDE EVITAR O DISMINUIR EL SANGRADO DEL CONCRETO?

Solicitando el menor revenimiento posible en función a los requerimientos de la obra; también se podrá emplear un aditivo reductor de agua, un inductor de aire o ambos. Los productores de concreto invariablemente utilizan aditivos reductores de agua para disminuir el sangrado y mejorar otros aspectos del concreto.



II. 9.—¿QUE PRECAUCIONES SE DEBEN TENER PARA EVITAR EL ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO DURANTE SU MANEJO?



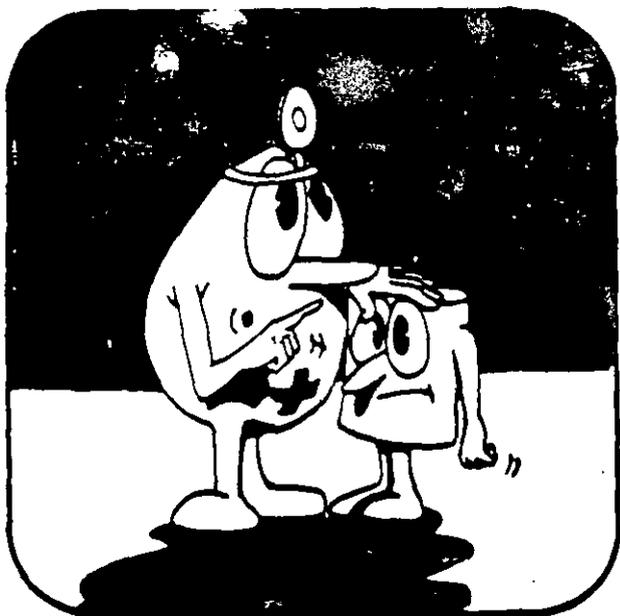
Lo primero es no emplear demasiado tiempo durante su colocación, además de vigilar la temperatura del medio ambiente y del concreto.

II. 10.—¿QUE RECOMENDACIONES SE PUEDEN DAR PARA EVITAR LOS EFECTOS NOCIVOS EN EL CONCRETO, PROPICIADOS POR ALTAS TEMPERATURAS?

En casos extremos se tendrá que recurrir al empleo de un aditivo retardador de fraguado, utilizar hielo finamente dividido en lugar de agua y/o colar únicamente de noche.

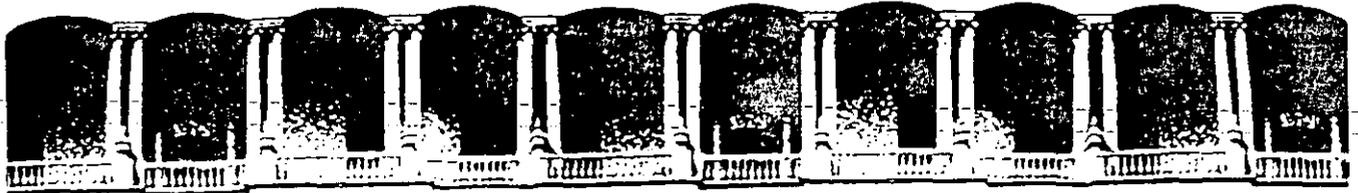


II. 11.—¿A QUE TEMPERATURA MAXIMA DEL AMBIENTE SE PERMITE COLOCAR EL CONCRETO?



En climas extremos, lo que importa es conocer la temperatura ambiente y controlar la temperatura del concreto, ya que existe una relación entre ellas. Las temperaturas mínimas del concreto en climas fríos deben encontrarse dentro de los límites que se dan en la siguiente tabla y para climas calurosos no deberán exceder de 32°C.

(Ver Tabla en Página 18).



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

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

DEL 14 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1994

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-C-155-1987
CONCRETO HIDRAULICO. ESPECIFICACIONES.**

ING. GUILLERMO TORRES GONZALEZ

INTRODUCCION

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

DEL 14 AL 25 DE NOVIEMBRE DE 1994

ADITIVOS

ANEXOS.

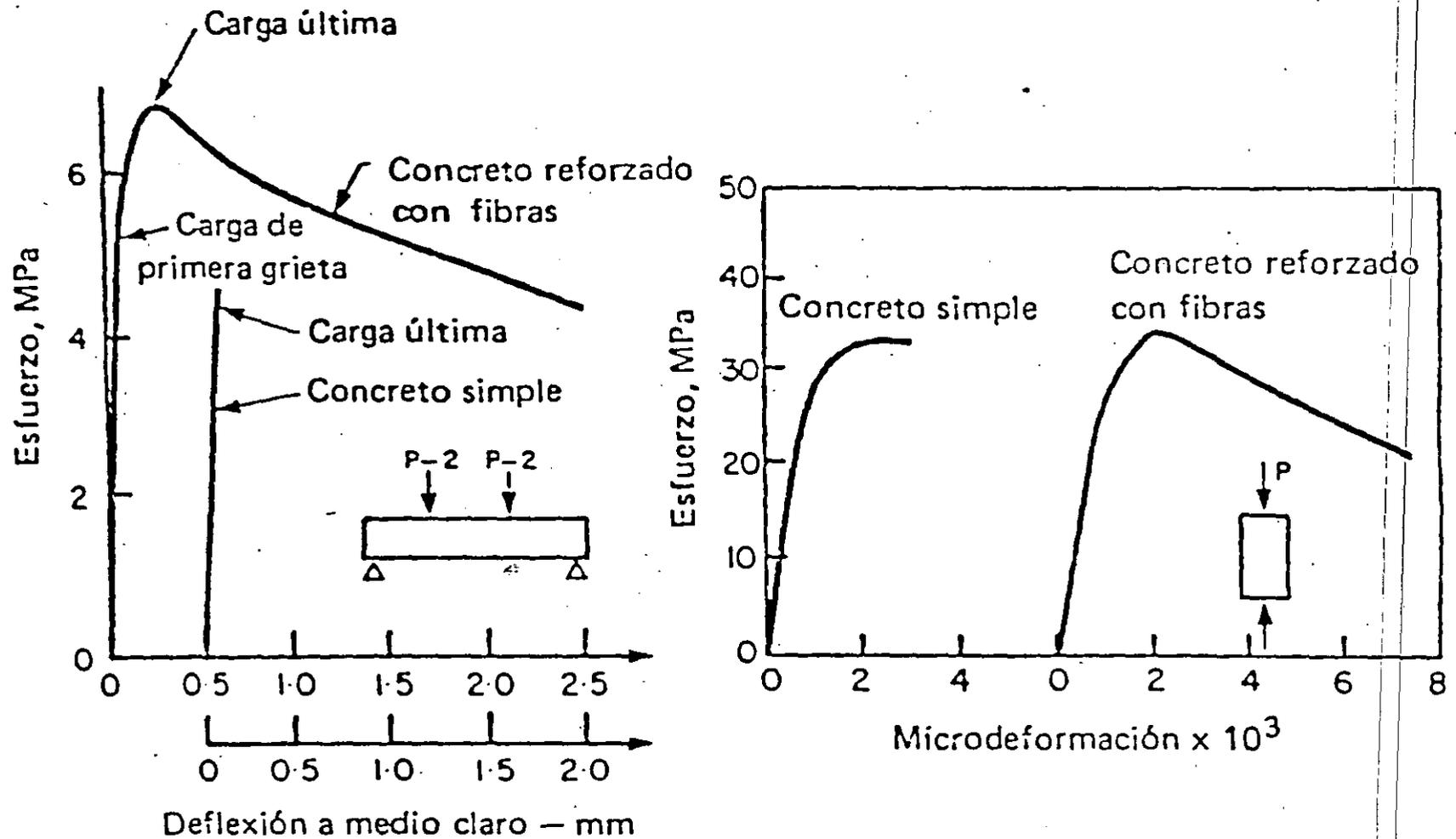


Fig. 1. Comportamiento comparativo de materiales cementantes no reforzados y reforzados con fibras, en flexión (izquierda) y en compresión (derecha). 1 MPa = 10.2 kg/cm²

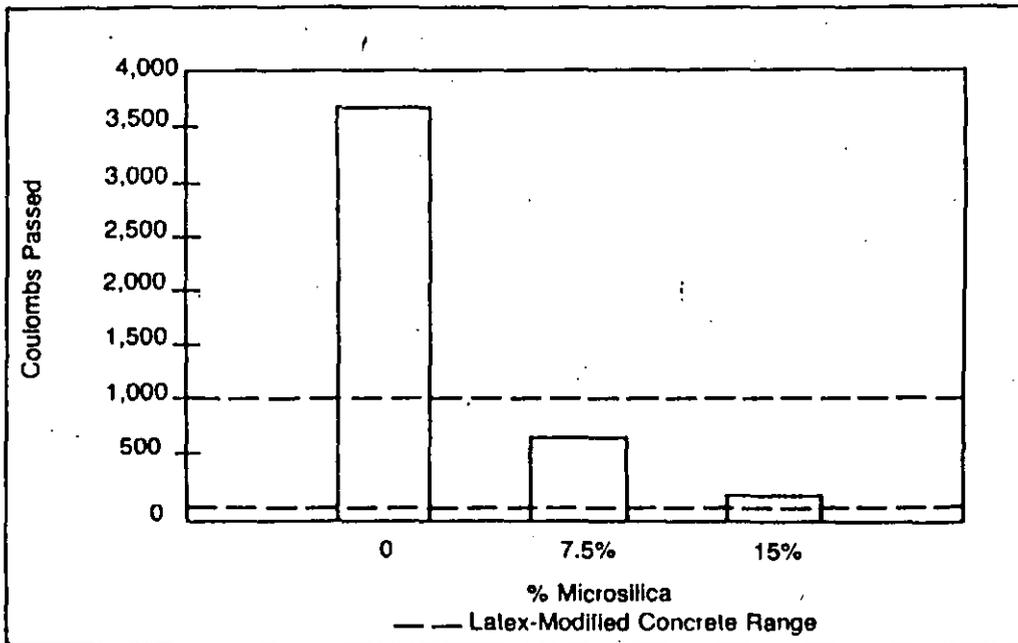


Figure 2 — Rapid Chloride Permeability (550 # Type 1 Cement, Water/Cement Ratio 0.37). Illustrates the influence of microsilica on compressive strength.

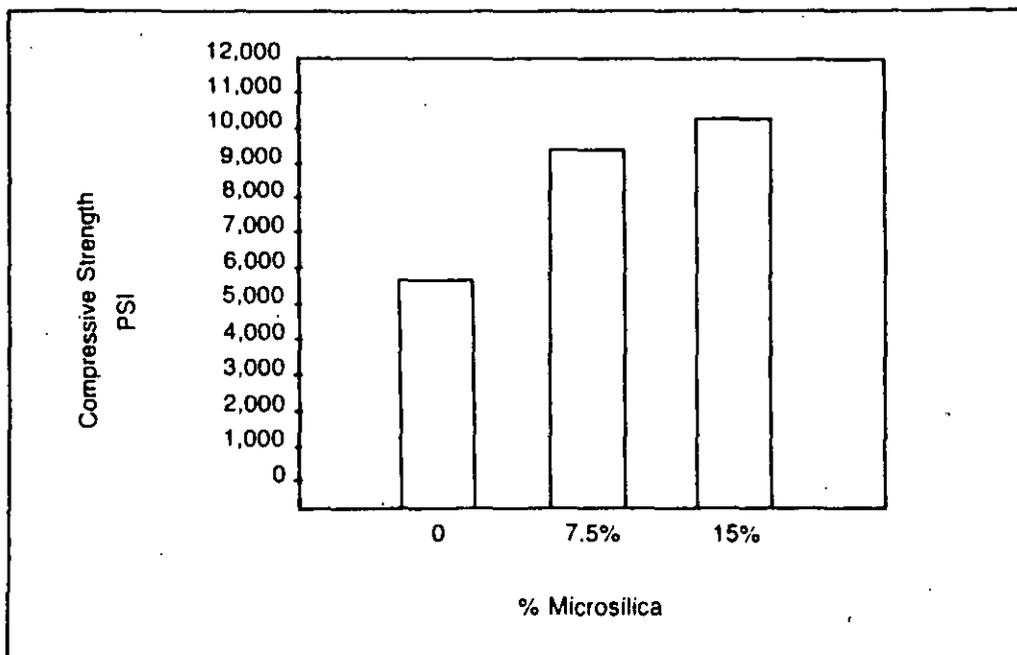


Figure 1 — Microsilica Concrete 28-Day Compressive Strength (550 # Type 1 Cement, Water/Cement Ratio 0.45). Illustrates the effect of microsilica on the permeability of concrete as measured by AASHTO T277-831.

SELECTED CONCRETE-REINFORCING FIBERS

Type	Diameter (0.001 in.)	Young's modulus (ksi)	Tensile strength (ksi)
Synthetics			
Polypropylene			
Monofilament	4.0-8.0	725	65
Fibrillated	20.0-160.0	500	80-110
Polyester	0.4-3.0	1,450-2,500	80-170
Specialty synthetics			
Polyethylene	1.0-40.0	725-25,000	29-435
Aramid			
Kevlar 29	0.47	9,000	525
Kevlar 49	0.40	17,000	525
Carbon			
Type 1	0.30	55,100	260
Type 2	0.35	33,400	380
Acrylic	0.2-0.7	2,600	30-145
Glass			
E	0.4	10,440	500
Alkali-resistant	0.5	11,600	360
Steel			
High-tensile	4.0-40.0	29,000	50-250
Stainless	0.4-13.0	23,200	300

Microsilica

¿Qué es la Microsilica (Silica Fume)?

Es un subproducto resultante de la reducción del cuarzo de elevada pureza con carbón en un arco eléctrico durante el proceso de producción de aleaciones de silicón y ferrosilicón. El humo, que tiene un alto contenido de dióxido de silicón amorfo y que consiste de pequeñísimas partículas esféricas, es capturado de los gases que escapan de los altos hornos.

La microsilica también se recoge como subproducto en la producción de otras aleaciones de silicón tales como Ferrocromo, ferromanganeso, ferromagnesio y silicón de calcio.

Tabla .- Actividad Puzolánica y Requerimientos de Agua

Prueba de Actividad Puzolánica	Microsilica*	Requerimientos ASTM (C 618) Ceniza Volante		
		Puzolana	Clase F	Clase C
Con Cemento Portland				
% de control a 28 días	110	75 min	75 min	75 min
% de requere- rimiento de agua	134	115 max	115 max	105 max
Con Cal MPa a 7 días	9 a 10	5.5 min	5.5 min	5.5 min

* Según reportes de Malhotra y Carrette (1983)



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRUALICO

A N E X O :
TEMA
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ING. JOSE TEMA COLUNGA

Control y Verificación de la Calidad del
Concreto Hidráulico

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Objetivo:

Ofrecer los criterios para la consideración de un Sistema de Aseguramiento de la calidad en la verificación y control del concreto de acuerdo a la normalización internacional.

Expositor:

MCI. José Antonio Tena Colunga

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para garantizar que todos los productos que salgan de las líneas de producción sean de la calidad especificada, se debe de establecer un sistema de control de la calidad que se inicia desde el momento en que se reciben las materias primas para procesarlas hasta que el producto terminado sale al mercado, pudiendo decir que un producto es bueno solamente si las magnitudes de sus especificaciones, caen dentro del límite de tolerancia establecido para cada uno de ellos.

El aseguramiento de la calidad en cualquier rama de la industria y de cualquier producto o bien de servicio depende directamente de la gestión que se haga para que un producto cumpla con la calidad requerida .

Entenderemos por gestión al proceso o disposiciones que se realizan a nivel dirección de empresa para que se lleve a cabo el aseguramiento de la calidad del producto.

En la gestión de la calidad intervienen primordialmente los altos ejecutivos, los cuales proveen de los mecanismos necesarios para que el aseguramiento de la calidad se cumpla satisfactoriamente, esto es importante recalcar ya que el aseguramiento de la calidad puede contar con programas de máxima eficiencia para el control de la calidad, pero si no se cuenta con el respaldo de la directiva de la empresa estos programas que trabajarían se verán afectados por la falta de recursos para su óptimo funcionamiento. Teniéndose como resultado que el funcionamiento del aseguramiento de la calidad vería afectado o bien disminuido y reflejándose todo esto en el control de la calidad del producto y en consecuencia la calidad del producto mismo también.

NIVEL	ETAPA DE LA CALIDAD	PERSONAL QUE IMPLICA.
1	GESTION	EMPRESARIAL O ADMINISTRATIVO
2	ASEGURAMIENTO	GERENCIAS
3	CONTROL DE CALIDAD	TRABAJADOR

El aseguramiento de la calidad es una política que debe de tener cualquier tipo de empresa.

En el aseguramiento de la calidad del concreto en cualquier obra y de cualquier tipo se verán involucrados tanto el dueño (comprador), como el diseñador (arquitecto/ingeniero) y el contratista o constructor, en consecuencia el laboratorio de prueba, las agencias gubernamentales y los proveedores deberán también de ser incorporados.

Las especificaciones de concreto definen entre otras cosas la calidad que es necesario cumplir para garantizar el buen comportamiento de la estructura. En busca de la economía, estos requisitos, por lo general, se reducen al mínimo aceptable y, por consiguiente también los márgenes de seguridad se ven reducidos al

mínimo tolerable. En estas circunstancias las variaciones excesivas de calidad son peligrosas; si se excede de las especificadas, se incurre en mayor costo; si se reduce demasiado, se aproxima rápidamente a la falla. Por consiguiente, el control y la verificación de la calidad adquieren una importancia especial en las obras.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

NORMAS DE CALIDAD NOM-C-1 A 13
NORMAS ISO



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO
HIDRUALICO

ALTERNATIVAS, PRACTICAS Y DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES

ING. JOSE ANTONIO TENA COLUNGA

Alternativas , Prácticas y Dispositivos Anticontaminantes

Expositor: MCI. José Antonio Tena Colunga

Introducción

La producción de concreto premezclado tiene como principal objetivo el ofrecer un servicio para el desarrollo de las modernas urbes y comunicaciones del mundo, sin embargo al hacer una revisión crítica de la forma de operar que hasta la fecha se tiene en gran parte del globo, encontramos que aparejado al beneficio inegable de la construcción con concreto se ha cooperado en cierta medida con la contaminación detectada que padecen algunos ecosistemas.

El buscar en lo posible la integración de nuestro quehacer con la naturaleza, no es sólo una reflexión filosófica como pudiera parecer a simple vista, es una estrategia económica en el fondo, ya que si nos damos cuenta, los bienes por su sobreconsumo se vuelven cada vez más escasos y por lo tanto más caros.

El presente trabajo propone un enfoque sistémico para la operación de plantas premezcladoras de concreto. Este enfoque no pretende ser exhaustivo, sino mas bien indicativo mencionando algunas alternativas, prácticas y dispositivos anticontaminantes y partiendo de planteamientos generales para su evaluación.

Proceso de Producción de Concreto

Analizando el proceso de producción, encontramos que es este el que aparentemente tiene el mayor número de puntos de generación de contaminantes. La figura 1 muestra los insumos del sistema que son: agregados, cemento, agua, aditivos, energéticos, maquinaria, predio y mano de obra. Los productos del sistema son concretos y otros cerámicos y sus subproductos contaminantes son: emisiones de partículas sólidas, agua residual, cascajo, lodos, emisiones directas e indirectas de combustión, lubricantes quemados y otros desechos orgánicos e inorgánicos, además de ruido y deterioro del habitat urbano.

El proceso general lo podemos dividir en los subprocesos de manejo de: agregados, cemento, agua, aditivos y las operaciones de carga, mezclado y transporte.

Manejo de agregados

La emisión de partículas es debida al desprendimiento y arrastre eólico y mecánico de los polvos minerales de gravas y arenas durante su descarga, acopio, carga, elevación y descarga a tolvas. Aparte se tiene una generación de ruido por la operación del traxcavo y el impacto de los materiales contra las paredes de las tolvas.

Manejo de cemento

La emisión polvo de cemento se presenta en dos puntos principales que son las a través de los aliviaderos de los silos durante la descarga del cemento al silo. Otros puntos potenciales de emisión son los puntos de conexión con las camiones tolva de cemento por acoplamientos defectuosos, tapas de registro de los silos y sinfines por deterioro de los sellos o rotura de pernos y por último no se puede descartar una eventual fuga o mas aún, el estallamiento del silo por fatiga.

Manejo del agua

La contaminación del agua se origina a través del lavado del interior de la olla (partículas sólidas e incremento en la alcalinidad), la limpieza de la unidad con ácido (reducción del ph), y limpieza en general de planta e instalaciones (partículas, grasas y solventes).

Normativa y Reglamentación actuales

El incremento concomitante en las normas, reglamentos y licencias necesarias para la operación de la industria en México podría sugerir que el propósito de las autoridades es la poner cada vez mas obstáculos para todo aquél que pretendiera iniciar una empresa y tratar de desalentar a los que ya lo son; este incremento en reglamentaciones es sencillamente un proceso natural de demanda de la sociedad por empresas mejores y la eliminación de aquellas no aptas para responder a las exigencias del mundo actual. El cumplimiento de todas y cada una de ellas presenta tres posibles rutas de acción:

El cumplimiento en sentido estricto a través de la obtención de las licencias a fin de estar protegido contra una acción legal.

El cumplimiento de las condiciones mínimas necesarias para poder operar dentro del marco de las mismas.

El optimizar nuestra operación a fin de que nuestra operación supere facilmente los parámetros fijados por las leyes, sus normas y reglamentos.

Por esta razón solo las empresas que emprendan un proceso de optimización global podrán mantener su capacidad de respuesta.

La empresa premezcladora como ente productivo y fuente potencial de contaminación.

El análisis realizado considera cada proceso particular como un sistema englobado dentro de otro sistema mas general y asi sucesivamente. Los procesos que se revisarán son la operación de la planta como proceso principal y las operaciones de mantenimiento, abastecimiento, administración, control de calidad y algunas otras.

Manejo de aditivos

La contaminación por aditivos se puede presentar por emisiones de partículas durante el manejo de aditivos en polvo por rotura de sacos y arrastre mecánico y de viento durante su recepción o almacenaje, o por fugas en las mangueras de los depósitos de aditivo con infiltración al subsuelo.

Operación de carga

La operación de carga presenta el punto más apreciable de emisión de partículas durante la introducción de los materiales a la olla del camión, esto es debido en parte al "ahogamiento" de los materiales a la entrada de la boca del trompo, un mal centrado de la unidad, interferencias al paso del material, velocidad del material al final de la banda y otros. Otros problemas son el desperdicio del material por el desborde de los materiales debido a que se sobrepasa la capacidad de la olla y el vaciado a mano de sacos de aditivo a la unidad. También se presenta un incremento en la dosis de ruido de operación.

Operación de mezclado

En este punto la mayores contaminaciones son los subproductos de la combustión y la generación de ruido por la sobrerrevolución del motor. Adicionalmente se pueden tener derrames de concreto por desbordes de la capacidad de carga de la olla.

Operación de transporte.

Los contaminantes en estos casos son la generación de ruido en áreas urbanas por un exceso de revolución en el motor y en ocasiones el derrame de concreto por exceder la capacidad recomendada de la olla, pasar topes rápidamente o circular en pendientes escarpadas y dar vueltas o virajes cerrados.

Sistema de mantenimiento

Las labores de mantenimiento en la empresa premezcladora involucren principalmente los mantenimientos preventivos con los cambios de lubricantes y filtros, cambios de neumáticos, cambios de baterías, reemplazos de partes, rectificaciones y pintado de unidades. De estas actividades, las que representan un mayor potencial de generación de contaminantes son los cambios de lubricantes y pintado de unidades, seguido por el deshecho del ácido sulfúrico de las baterías y solventes y metales del limpiado de rectificaciones.

Sistema de abastecimiento

El abastecimiento esta compuesto principalmente por el aprovisionamiento de agregados, cemento y agua. Las principales generaciones de contaminantes son la emisión de polvos desde el punto de carga inicial a la tolva, hasta el punto de descarga al camión y la emisión de gases de los escapes de las unidades de transporte.

Operacion administrativa

La contaminación no esta restringida a la operacion, la realizacion de las tareas administrativas en ocasiones se hacen con un consumo irracional de energéticos aparte de dejar como subproducto la basura.

Sistema de control de calidad

El control de calidad es una labor que si bien es pequeña en volumen, no por ello deja de tener su aportación dentro de la contaminación con cilindros de desperdicio, mortero de azufre quemado, lodos del lavado de equipo, vapores de azufre emanados hacia la atmósfera y desperdicio de agua utilizada en el curado de los cilindros.

Prácticas , alternativas y dispositivos anticontaminantes

Pueden existir una amplia gama de soluciones para paliar, mitigar, reducir o eliminar la generacion de contaminantes. La selccion debe de hacerse con todo cuidado ya que algunas alternativas representan tan solo medidas parciales anticontaminantes y otras pueden ser soluciones reales. Para poder normar nuestro criterio de valoracion podemos recurrir a la piramide de jerarquia de manejo de los canteminates ilustrada en la figura 2 los manejos en orden de importancia son: La no generacion de contaminantes, la reduccion de los mismos, su reciclaje, el tratamiento de los contaminantes y por ultimo el eferctuar la adecuada disposicion de los productos contaminantes. Conforme nos acercamos hacia la primera practica contribuiremos mas a la meta de no deteriorar el medio ambiente y conforme descendemos tan solo estaremos aplazando la verdadera solucion del problema. Un buen ejemplo de este ultimo punto lo constituyen los desperdicios nucleares que dia a dia representan un problema mayor para los gobiernos del planeta al agotarse la capacidad de los pocos existentes, las dificultades en la localizacion de los nuevos y no se tiene la certeza de que no se tendra problemas en el futuro con esos desperdicios.

Prácticas ,alternativas y dispositivos anticontaminantes en produccion

Este sistema lo trataremos dividiendolo en sus subsistemas antes mencionados.

Prácticas ,alternativas y dispositivos anticontaminantes en manejo de agregados

La primera consideracion sobre este punto es que al tratar sobre ecologia deberemos de involucrar en lo posible a las demas entidades que participan en alguna parte de la cadena de transformacion, esto lo contempla de manera indirecta la SEDESOL al exigir que cada parte se responsabilize de su propios productos y generacion de contaminantes y del destino que se da a sus desechos. A esta politica la podriamos llamar de responsabilidad hacia adelante ya que no se hace responsabiliza la usuario intermedio de lo que ocurrio en las actividades que le precedieron. Sin embargo es conveniente el preocuparse y tratar de tener una politica de preocupacion ecologica no solo hacia adelante sino tambien hacia atras, es decir preocuparnos por tener proveedores que trabajen en reducir sus margenes de contaminacion.

Esto viene a colacion debido a que seria conveniente que en la proximidad de zonas urbanas las minas productoras de agregado mitigaran en lo posible la generacion de polvo y que los transportistas cubrieran perfectamente las cajas de sus camiones, amen de reducir el ruido y mantener sus transportes produciendo un mínimo de contaminacion para que de esta forma sea posible tener una cadena de producción ecológica. Como ejemplo, tenemos a las plantas cementeras que ya han logrado una imagen de producción dentro del marco de mantenimiento del medio ambiente.

Ahora bien, el manejo de agregados se inicia con el momento de recepción y descarga y prosigue con: homogeneización en el patio, carga a la tolva, elevación por las bandas, pesado, elevación y descarga por banda a la unidad. Con excepción del pesaje, la caída de material y el arrastre de finos por el viento se presenta en cada uno de estas partes; la solución en bandas ha sido el cubrirlas, para las tolvas se ha encontrado como una solución práctica el colocar una caseta en ellas para evitar el viento y confinar el posible desprendimiento de finos por la velocidad de la operación, pero persiste el problema de los finos en los almacenes de material y en patios.

Las prácticas recomendables para el manejo en almacenes son:

- Mantener el polvo dentro de las instalaciones
- Mantener el material humedo para que el viento no pueda arrastrar el material

La primera práctica es la mas común y la segunda esta ganando adeptos, si bien requiere de tener un dispositivo para lograrlo con mayor o menor labor agregada, entre las que podemos nombrar neblinas, sistemas de aspersores, aspersores portatiles y el mojado con chorro de agua.

Prácticas ,alternativas y dispositivos anticontaminantes en manejo de cemento

El cemento esta considerado como material dañino para la salud, es la emisión mas facilmente apreciable y es un material que arrastra el viento distancias considerables. Su inhalación sin control produce silicosis en los pulmones del inhalante. La descarga de cemento al silo es la primera parte que presenta emisión, esta ocurre en el acoplamiento con el tubo de alimentación y en el aliviadero del silo.

El dispositivo anticontaminante indispensable es el colocar un filtro en el silo a fin de retener el polvo de cemento que escapa por el aliviadero. Las prácticas en este punto son por una parte evitar que el filtro (y por tanto el silo) tengan que soportar presiones elevadas y por otra parte revisar periódicamente el estado de los filtros para su limpieza y mantenimiento. A estos dos puntos es hacia donde se dirigen las alternativas.

Para evitar que se creen presiones mayores en silo y filtro las alternativas son:

- La vigilancia por parte del encargado del camión tolva para apagar a tiempo el soplador.
- Instalar una alarma que se encienda cuando la presión en el silo alcance un nivel predeterminado o cuando el silo este lleno hasta cierto nivel.
- Instalar un circuito que sirva para acoplarlo a el soplador del camion tolva y lo apague cuando la presión en el silo alcance un nivel predeterminado o cuando el silo este lleno hasta cierto nivel.
- Adozar un fuelle de alivio de presión para el silo a los dispositivos anteriores.

Prácticas ,alternativas y dispositivos anticontaminantes en manejo de agua

Las práctica principal se reduce a efectuar el reciclado del agua tanto en el lavado de la olla, como en el lavado de la carrocería. Para ello se deben de instalar cisternas separadas para el manejo de cada agua.

El reciclado del agua puede ocurrir en varias modalidades que son:

- Lavado de la olla manteniendo el agua dentro de la unidad y compensando el consumo en el momento de la carga.
- Lavado de la olla con introducción de aditivos que congelan el fraguado del cemento para el aprovechamiento de esta lechada y finos.
- Concentrado del agua en pozas de sedimentación para su reciclado
- Reciclado del agua con finos
- Instalación de una planta recicladora de agua, agregados y finos.

La figura 5 muestra un esquema ilustrativo del ciclo de reciclado.

Prácticas ,alternativas y dispositivos anticontaminantes en manejo de aditivos

En este caso se debera verificar con el productor del aditivo que sus productos son inocuos para el medio ambiente, es decir son biodegradables y no contienen compuestos que los ubiquen dentro de algunas de las clasificaciones CRET. Si este no es el caso debera hacerse el manifiesto ante la SEDESOL y tener las instalaciones requeridas para su almacenaje, manejo y disposición.

Las prácticas se reducen en este caso a revisiones, adecuación de instalaciones y planes de contingencia para recuperación y disposición de materiales en caso de derrames o pérdida de material.

Las revisiones deben ser periódicas para verificar el estado de depósitos y las mangueras de alimentación en el caso de almacenaje a granel y para los demas casos revisar el estado y condiciones de almacenaje de cubetas o sacos que los contengan, en general las recomendaciones dadas por el comite ACI 212 sobre el empleo de aditivos son buenas con la salvedad de que hay que adecuar instalaciones y planes para casos de contingencia.

En los casos que los aditivos se introduzcan manualmente, se deberá minimizar el riesgo para el operador equipándolo con equipo de seguridad y adiestrarlo para que la pérdida de material al medio ambiente por su manejo sea mínima.

En estos casos las alternativas son el instalar aditamentos para la introducción mecánica del aditivo a la unidad como pueden ser una rompedora de sacos. Una segunda alternativa es la de adquirir aditivos de proveedores que ofrezcan el producto 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 aspas de olla hagan el resto de la operación.

Prácticas , alternativas y dispositivos anticontaminantes en carga

El punto de carga de los materiales a la unidad para su mezclado es actualmente el segundo punto de emisión de polvos. La emisión de polvos se puede mitigar mediante las siguientes prácticas:

- Centrado eficiente de la unidad para cada carga mediante ayudas visuales y señalización para maniobras de los operadores.
- Regulación de la velocidad de carga de cada uno de los materiales a fin de lograr su óptima velocidad de introducción a la olla.
- Revisión periódica de las mangas y faldones de la boca de carga para verificar su buen estado y evitar obstrucciones al paso del material.

Las siguientes alternativas pueden considerarse para disminuir mas la presencia de polvos durante la carga:

- Manejar húmedos los agregados.
- Instalar un equipo automatizado de bacheo.

Aparte existen en el mercado algunos dispositivos para el control de los polvos fugitivos como son:

- Neblinas húmedas para el depósito de las partículas.
- Neblinas secas electrocargadas para el depósito de las partículas.
- Campanas retractiles con colectores de polvos.

Finalmente tenemos el confinamiento del area para evitar el escape de los polvos.

Prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes en transporte

Una de las razones mas frecuentes para el enfado de vecinos y autoridades son los derrames de concreto sobre vialidades y su consabida secuela de protestas y sanciones. Actualmente hay que tener mas cuidado pues estas "tecatas" de concreto comienzan a ser calificadas no solo como afectaciones a vias publicas sino también como contaminación a drenajes. Las prácticas para evitarlas son:

- Lavar las ollas de forma adecuada para evitar que generen lastres de piedra en su interior.
- Revisar periódicamente las unidades para eliminar estos empedramientos
- No sobrepasar su capacidad de operación en mezclado y transporte, segun sea el caso.
- Establecer límites de capacidad cuando se vaya circular en pendientes pronunciadas.
- Educar a los operadores a pasar despacio topes o baches y no hacer virajes a alta velocidad.

Las alternativas aplicables son:

- Tener una brigada de limpieza que levante estos derrames en cuanto se tenga conocimiento de ellos.
- Instalar una compuerta en la boca de la olla para su cierre hermético. Esta alternativa nunca se ha llevado a cabo por que representa algunas inconveniencias operativas.
- Transportar con revenimientos bajos el concreto.

Ademas, para eliminar el empedramiento también se pueden emplear aditivos que detienen de forma controlada el fraguado del cemento, tal y como se mencionó en la sección de manejo de agua.

No menos importante son las huellas dejadas a la salida de la planta por todo el equipo de transporte esto se puede evitar con la limpieza de la planta y el lavado de el piso de las llantas. Una alternativa a este caso ha consistido en la instalación de un lavadero de llantas a la salida de la planta.

Una alternativa para disminuir aun mas la contaminación de los motores es la instalación de un dispositivo convertidor para consumo de gas licuado en vez de diesel o gasolina, desafortunadamente esta alternativa aunque ya esta disponible no es posible por el momento por la insuficiencia en el suministro del energético.

Prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes en Mantenimiento

SEDESOL obliga en el caso de la generación de residuos peligrosos, a registrarse y llevar una bitacora de entrega de estos residuos para su disposición. Estas bitácoras deben de entregarse en copia y con una hoja de resumen cada semestre en el Instituto Nacional de Ecología. Los mismo cuidados y procedimientos deben de seguirse con filtro de lubricantes, baterías y solventes.

En caso de que se realice el pintado de unidades se deberá instalar una campana de pintado para la recolección de los vapores de solventes.

Las prácticas recomendables son las de contar con instalaciones adecuadas con dispositivos de almacenaje, ventilación y seguridad adecuados y aprobados por la SEDESOL o perito registrado; revisar periódicamente el estado de las mismas y operatividad de las mismas, además se debe de capacitar al personal sobre los procedimientos para la atención de derrames, fugas y contingencias, recolección y disposición de estos materiales.

Una alternativa es la de utilizar servicios de terceros que estén debidamente autorizados por la SEDESOL y procurar tratar con proveedores que estén autorizados para efectuar el reciclado de materiales; también existen en el mercado algunos productos biodegradables para la operación de limpieza y lavado en el área de talleres.

Los dispositivos que actualmente se están ofreciendo consisten en recicladores de solventes y prensas de filtros para la extracción de lubricantes para su disposición como metal en tiraderos autorizados.

Prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes en Abastecimiento

En esta parte la práctica más sencilla consiste en el uso de lonas para tapar las cajas de las unidades de transporte, amén de mantener bien afinados los equipos y a la presión adecuada las llantas para reducir el consumo de combustible.

Otras alternativas son el tener un diseño aerodinámico del equipo de tracción, sus cajas y emplear unidades con motores denominados ecológicos.

Prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes en Administración

Es una buena política el que la preocupación por la ecología no se limite a las plantas, sino que se traslade a las oficinas donde se pueden emplear papel reciclado, focos de bajo consumo eléctrico y establecer campañas para evitar el desperdicio innecesario de papel y procurar en lo posible el uso de productos biodegradables.

Prácticas, alternativas y dispositivos anticontaminantes en Control de calidad

En este apartado las prácticas recomendables son:

- Revisar periódicamente las frecuencias y tamaños de las muestras para evitar la producción innecesaria de especímenes.

- Difundir el uso de los cilindros como material alternativo para obras de pavimentado, construcción y ornato entre asociaciones de colonos como uso alternativo al de relleno sanitario.

- Manejar el mortero de azufre a fin de darle el mayor número de usos posibles dentro de lo que marca la norma NMX C 109.

- Reciclar el agua de la cámara de curado y de los lavados de equipo.

Algunas posibles alternativas son:

- El empleo de especímenes mas pequeños y tamaños de muestra mas pequeñas cuando sea posible.

- Sustituir el empleo de mortero de azufre por el de otro material menos contaminante y mas reciclable.

- Cabecear las muestras recién elaboradas con pasta de cemento a fin de eliminar el cabeceo posterior.

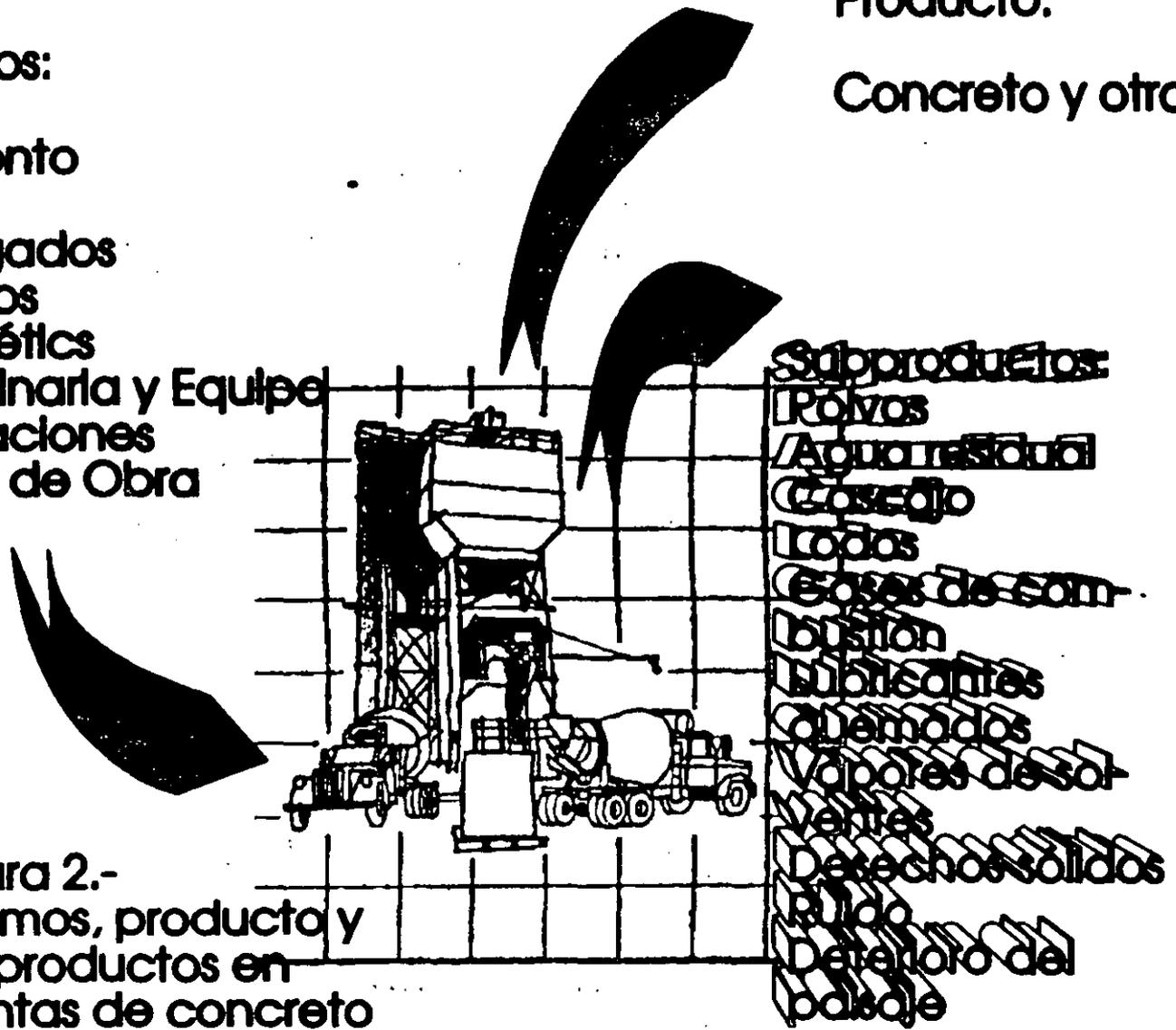
- Desarrollar otros métodos de control de calidad más efectivos no destructivos.

Insumos:

Cemento
Agua
Agregados
Aditivos
Energéticos
Maquinaria y Equipo
Instalaciones
Mano de Obra

Producto:

Concreto y otros



Subproductos:

Polvos
Aguas residuales
Cenizas
Lodos
Gases de combustión
Lubricantes quemados
Vapores de solventes
Desechos sólidos
Ruido
Deterioro del paisaje

**Figura 2.-
Insumos, producto y
subproductos en
plantas de concreto**

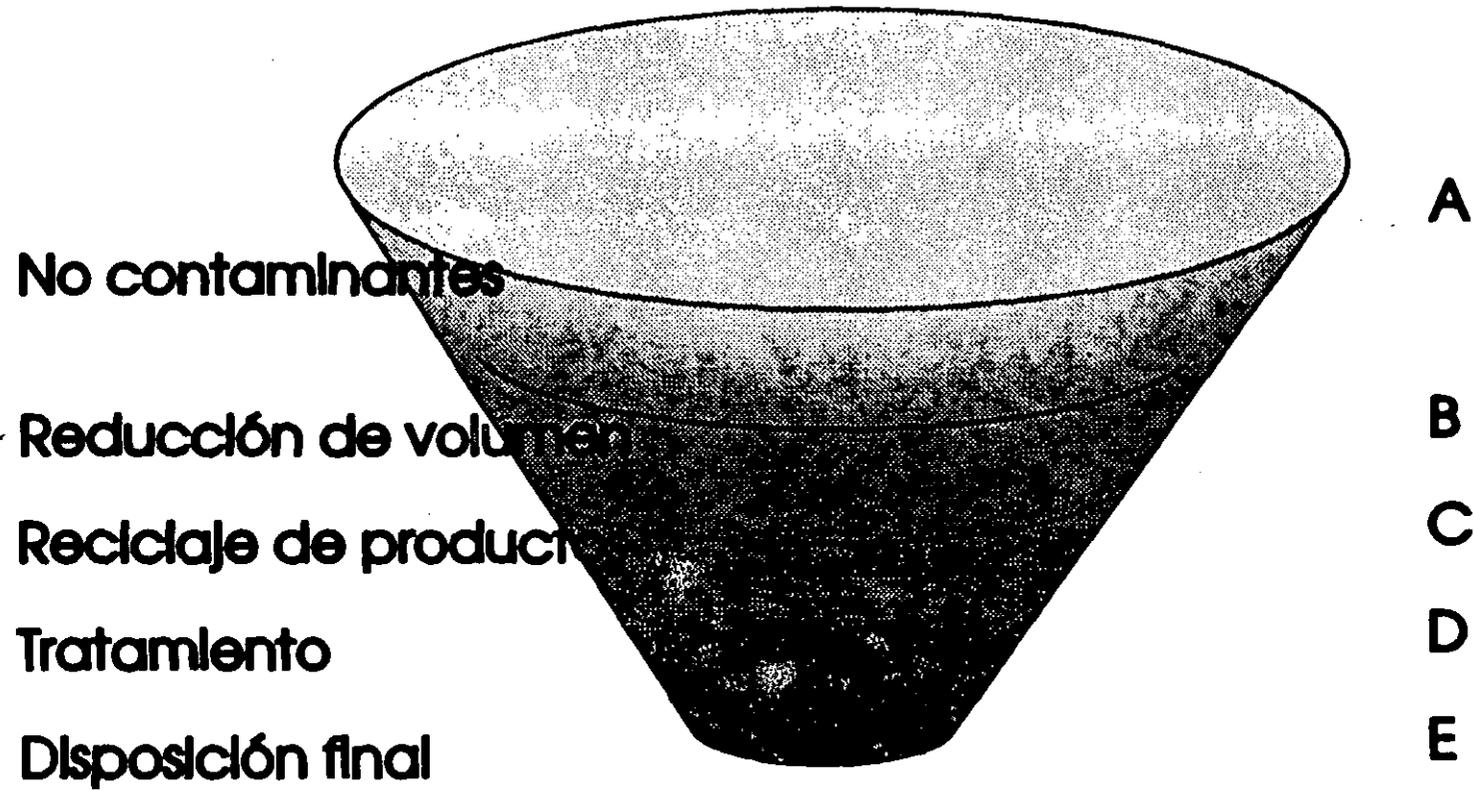


Figura 3.- Jerarquía de Manejo de Desechos.

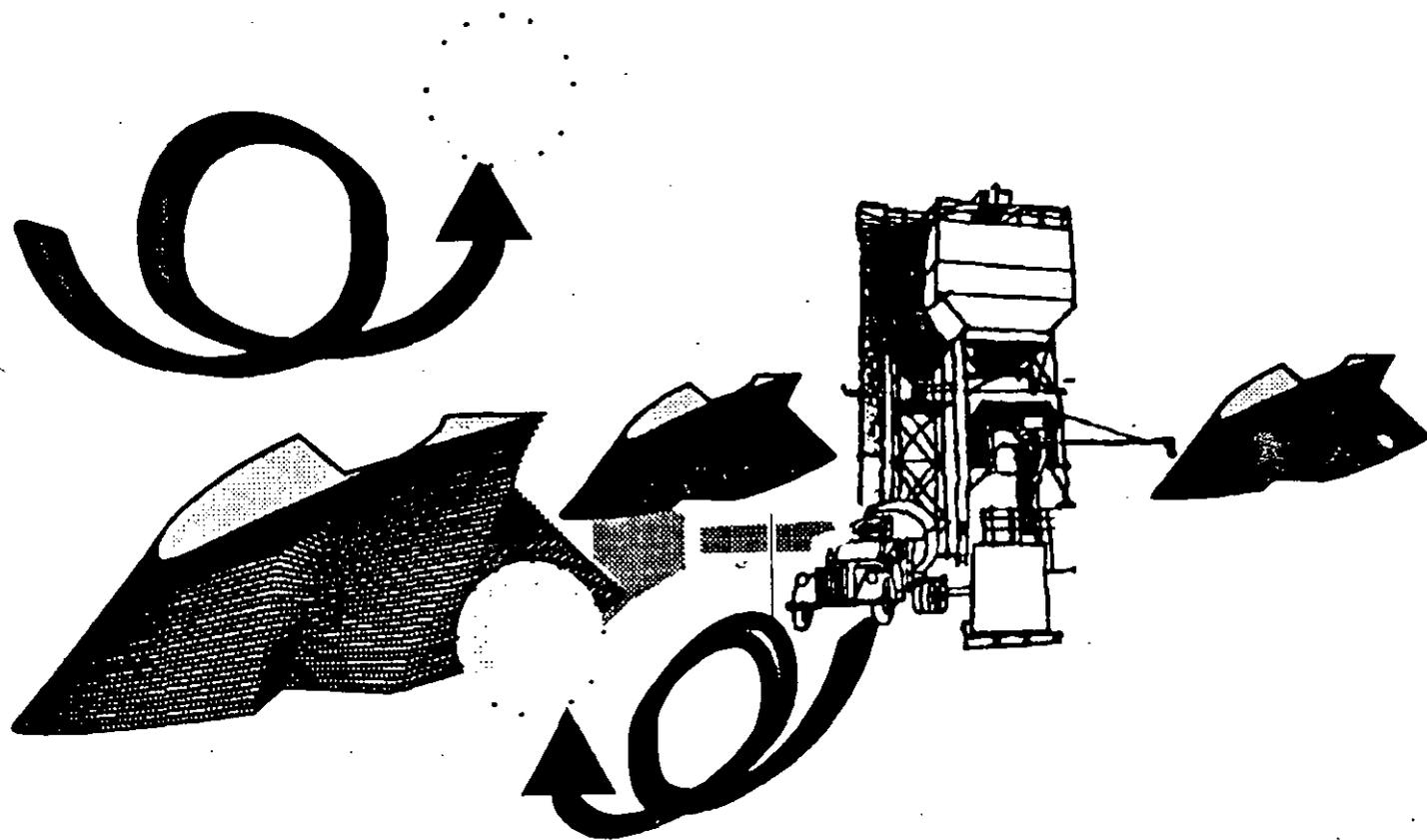


Figura 4.- Emisión de Polvos por viento y vehículos

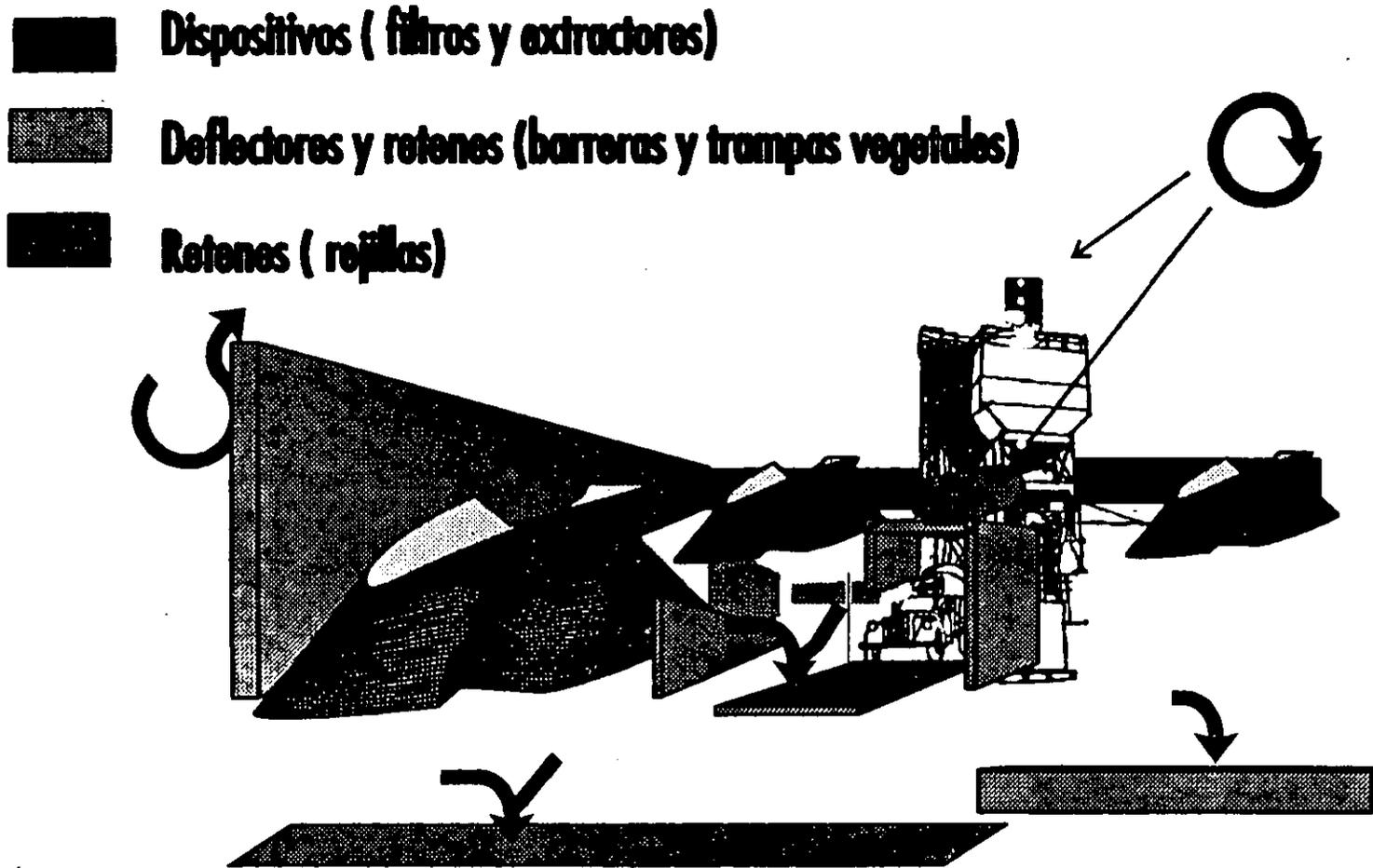


Figura 5.- Retenes y Dispositivos para control de emisiones a la atmósfera.

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

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

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

CONCEPTO	COS- TO INI- CIAL (mil es N\$)	TIEM PO DE AMOR TIZA CIÓN	COS- TO MAN- TENI MIEN TO	INCRE- MENTO COSTO OPERA- CIÓN (%)	NIVEL MANEJO DE DESE- CHOS ¹	NIVEL DE MANTE- NIMIEN TO	REDUCE CONTRO LA ELIMI- NA EMI- SIÓN DE POLVOS	INCONVE- NIENTES	VENTA- JAS ADICIO- NALES
Tarjetas	15-30	1-10	BAJO	BAJO	B	ANUAL	REDUCE	NINGUNO	MEJOR IMAGEN
rejillas y trampas de polvos	1-2	1 AÑO	HA	HA	B	HA	CONTROLA	DISPOSICION DE LADOS/POLVOS	MEJOR FRECUENCIA DE LIMPIEZA
Barrera vegetal	1.5-2	NA	BAJO	HA	A	SINISTRAL	CONTROLA	NINGUNO	MEJOR AMBIENTE
Setos bajas	1.5-2	NA	BAJO	HA	A	SINISTRAL	CONTROLA	NINGUNO	MEJOR AMBIENTE

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

CONCEPTO	COS- TO INI- CIAL (mil es NS)	TIEM PO DE AMOR TIZA CIÓN	COS- TO MAN- TENI MIEN TO	INCRE- MENTO COSTO OPERA- CIÓN (3)	NIVEL MANEJO DE DESE- CHOS ¹	NIVEL DE MANTE- NIMIEN TO	REDUCE CONTRO LA ELIMI- NA EMI- SIÓN DE POLVOS	INCONVE- NIENTES	VENTA- JAS ADICIO- NALES
Centrado olla	NA	NA	NA	NA	B	NA	REDUCE	NINGUNO	MEJOR CONTROL
Regular carga de olla	NA	NA	de	NA	B	NA	REDUCE	NINGUNO	MEJOR MEZCLADO
Rev. baldones, mangas, etc.	NA	NA	NA	NA	B	SEMANAL	REDUCE	NINGUNO	MEJOR IMAGEN
Manejo húmedo de viguetas	3-5-8	1 año	bajo	3-3.38	A	SENESTRAL	ELIMINA	HAS MANT. BANDAS	NO DESPERDICIOS
Equipo de bacheo automático	4-7	2-4 años	bajo	3-3.8	B	SENESTRAL	REDUCE	NA	HAS CTAL./ADMON
Neblina húmeda	3-12	1-3 años	bajo	3-2.8	D	SENESTRAL	REDUCE	LIMPIEZA LODOS	NO TIENE
Neblina electrostática	10-15	1-3 años	bajo	3-2.8	D	SENESTRAL	REDUCE	LIMPIEZA POLVO	NO TIENE
Campanas retractoras y colectores de polvos	7-10	1-3 años	medio	3-2.8	B	SEMANAL	REDUCE	HAS RUIDO	PUEDA RECUPERAR CEMENTO
Filtros	1.5-7	1-3 años	medio	3-2.8	B	SEMANAL	REDUCE	DISPOSIC. POLVOS	MEJOR IMAGEN
Contaminación de agua de carga	10	1-3 años	bajo	1.8	D	ANUAL	CONTROLA	DISPOSIC. POLVOS	MEJOR IMAGEN



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
CURSOS ABIERTOS
CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO
HIDRAULICO**

CURADO DEL CONCRETO

ING. JUAN OSORIO PALMA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal México
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26

CURADO DEL CONCRETO

1. INTRODUCCION

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

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

1.2 GENERALIDADES

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

1.2.1 CONTENIDO DE AGUA SATISFACTORIO

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

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

La pérdida de 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. Tal reducción tiende a disminuir la hidratación. La pérdida de humedad en esta etapa origina la contracción por secado del concreto y la formación de grietas en la pasta.

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

1.2.2 TEMPERATURA FAVORABLE

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

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

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

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

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

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

2.2 CURADO CON AGUA

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

2.2.1 ANEGAMIENTO O INMERSION

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

2.2.2 ROCÍOS O RIEGO DE AGUA

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

Las mantas de estopa, algodón o yute, al igual que otras cubiertas de materiales absorbentes, conservan el agua en la superficie, ya sea horizontal o verticalmente. Las mantas de estopa no deben de tener ningún recubrimiento o cualquier otra sustancia que pueda resultar perjudicial para el cemento portland o le cause decoloración. Las mantas de estopa nuevas deben de enjuagarse con agua para remover las 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 riesgo de que el curado resulte inadecuado. Se manejan en forma muy semejante a las de estopa excepto que debido a su mayor peso, su aplicación a una superficie recién terminada debe esperar hasta que el concreto haya endurecido a un mayor grado que cuando se usan las mantas de estopa. Usualmente, antes de colocar las mantas de algodón húmedas y más pesadas, se aplica un curado inicial con estopa ligera u hojas impermeables durante algunas horas

2.2.4 CURADO CON TIERRA

El curado con tierra húmeda ha sido usado en forma efectiva, tanto en trabajos comparativamente pequeños de losas o pisos, como en la pavimentación de carreteras. La tierra debe de estar libre de partículas mayores de una pulgada y no debe contener materias orgánicas u otras substancias que puedan dañar al cemento, reardando 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 especialmene útiles en obras en donde los carpinteros y los trabajadores encargados de colocar las cimbras tienen que trabajar sobre la superficie, pues estas cubiertas ayudan a protegerla contra marcas y manchas.

2.2.6 PAJA O HENO

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

2.3 MATERIALES SELLADORES

Los materiales selladores son hojas o membranas colocadas sobre el concreto, a fin de reducir la pérdida de agua de mezclado. A pesar de que los materiales selladores no son necesariamente tan efectivos como la aplicación de agua durante todo el período de curado, existen ventajas en su utilización, las cuales lo hacen preferibles bajo muchas condiciones. Por ejemplo, si la humedad queda encerrada, existen menos probabilidades de que el curado sea deficiente debido a la negligencia de no mantener húmedo el recubrimiento. Además, los materiales selladores son menos costosos, más fáciles de manejar y pueden ser aplicados antes que otros materiales, muchas veces sin ningún curado inicial. En las siguientes secciones se describen los materiales selladores más comunes. Las cimbras dejadas en su lugar de colocación sirven para prevenir la pérdida de humedad de las superficies que se encuentran en contacto con ellas.

2.3.1 PELÍCULA PLÁSTICA

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

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

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

En su aplicación, la película plástica debe ser colocada sobre la superficie húmeda del concreto fresco tan pronto como sea posible, teniendo cuidado de que no dañe la superficie y de que cubra todo el concreto expuesto. Debe ser colocada y cargada de manera tal que permanezca en contacto con el concreto durante el tiempo de curado especificado. En superficies planas, como pavimentos, la película debe extenderse más allá de las orillas de la losa en por lo menos el doble de espesor de ésta. A lo largo de todas las orillas y las juntas de la película, deberán colocarse hileras de arena o tierra, o bien, tablas de madera, a fin de retener la humedad en el concreto y evitar que el viento penetre debajo de la película y la levante. En lugar de este procedimiento resulta aceptable y generalmente más económico usar una tira delgada de película plástica a lo largo de las orillas verticales, colocándola sobre la hoja en la superficie horizontal y asegurando todas las orillas con hileras de arena o tiras de madera. Cuando esta cubierta deba removerse, la tira se puede jalar fácilmente, dejando libre la hoja horizontal, la cual puede ser enrollada sin que alguna rasgadura o pliegue dañe la superficie. Esto también se aplica cuando se usa papel impermeable.

2.3.2. PAPEL IMPERMEABLE

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

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

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

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

2.3.3. COMPUESTOS LIQUIDOS PARA FORMAR MEMBRANAS DE CURADO

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

El compuesto debe aplicarse con una rapidez uniforme a fin de satisfacer los requerimientos de la prueba de retención de agua (ASTM C 156-65). Los valores usuales de cobertura oscilan entre los 3.5 y 5 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 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 acaabado y antes de que el agua libre de la superficie desaparezca completamente, para prevenir la formación de grietas.

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

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

2.4. MANTAS O CUBIERTAS AISLANTES

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

Los pavimentos y las losas planas generalmente se protegen con capas de aislante colocadas en la superficie y a lo largo de los bordes o lados. La cara inferior, en caso de estar por encima de la sub-base, deben encerrarse para permitir el uso de calentadores, especialmente cuando se esperan temperaturas muy por debajo del punto de congelación. Las cimbras de madera pueden aislarse y en realidad protegen considerablemente al concreto de la congelación, pero tal vez no lo suficiente, a menos que se complementen con calor adicional proveniente de un hornillo portátil o de otro dispositivo similar. Debe ponerse especial cuidado en evitar que las cimbras se incendien; los calentadores deben contar con ventilación a fin que los gases de combustión salgan del recinto y pueda evitarse la carbonatación del concreto fresco.

Las áreas encerradas con lona u otros materiales y diseños deben ser prácticamente herméticas y poseer la suficiente resistencia estructural para soportar cargas de nieve o vientos fuertes. Cuando van colocadas en losa sobre nivel del suelo o alrededor de otros tipos de estructuras, pueden calentarse por medio de calentadores ambientales o con vapor, pero debe tenerse cuidado en evitar que el calor se concentre en las partes de concreto cercanas a los calentadores, pues podrían aparecer manchas en el concreto. Cuando se usa vapor existe la posibilidad de que se forme hielo en las cubiertas y a los lados del área encerrada, lo 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 el curado bajo condiciones climatológicas templadas, pero no resultan suficientes como aislantes térmicos si se usan en la manera habitual en las temperaturas bajo cero continúan por más de unas cuantas horas. Siempre que el promedio de temperatura no baje de -4 grados centígrados, las mantas de algodón secas proporcionarán protección contra el congelamiento durante los primeros días. También se puede efectuar un curado inicial con un compuesto de curado, una película de polietileno, pliegos de papel o cualquier otro procedimiento de curado normal que no sature las mantas de algodón, colocando las mantas sencillas o en dobleces para obtener la protección deseada.

2.5 CURADO CON VAPOR A ALTA PRESION

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

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

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

2.7 CURADO EN CLIMA CALIDO

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

2.8 CURADO EN CLIMA FRIO

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

2.9 EVALUACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CURADO

Varios investigadores han estudiado durante muchos años las ventajas relativas de los diferentes procedimientos de curado, llegando a conclusiones variadas excepto bajo condiciones controladas en el laboratorio, son tantas las variables que resulta muy difícil establecer, a nos ser de forma general, cuál procedimiento es el más efectivo o cuál es el grado de aproximación de un procedimiento al curado ideal. En la práctica, la influencia de las variaciones incontrolables de humedad y de temperatura de hora a hora, y la atención que los obreros y los supervisores prestan al curado, tienen un efecto considerable en los resultados obtenidos.

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

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

La eficiencia del curado con hojas impermeables depende del grado en el que pueda mantener el agua que se encuentra dentro o en contacto con el concreto. Cualquier fuga en los bordes o en las juntas entre hojas, o a través de rasgaduras u orificios, reducirá la eficiencia del curado. Algo similar sucede con los compuestos líquidos para formar membranas de curado si su aplicación no es uniforme o resulta insuficiente; la pérdida de humedad através 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 simple es posible determinar el grado de eficiencia del curado, pues las condiciones atmosféricas durante dicha operación juegan un papel importante en su desarrollo. Es posible que durante un clima lluvioso o nublado se requiera efectuar un curado sencillo o definitivamente no resulta necesario hacerlo, aunque tal vez deba protegerse la superficie contra deslaves o erosión durante las lluvias muy fuertes. En ambientes muy poco húmedos, debe tenerse extremo cuidado en prevenir pérdidas de humedad del concreto.

2.10 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA DURACION DEL CURADO

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

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

También se pueden practicar pruebas de resistencia en muestras preparadas a partir del concreto colocado en la obra (corazones extraídos o vigas aserradas); o pueden efectuarse pruebas no destructivas para establecer la resistencia aproximada del concreto ya colocado. Un método no destructivo de creciente aceptación en las plantas de elementos prefabricados y 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 una cierta resistencia.

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

EL CURADO EN LOS DIFERENTES METODOS DE CONSTRUCCION

3.1 PAVIMENTOS Y OTRAS LOSAS COLADAS SOBRE EL TERRENO

3.1.1 GENERALIDADES

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

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

3.1.2 PROCEDIMIENTO DE CURADO

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

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

En caso de que comiencen a formarse agrietamientos por contracción plástica, el concreto debe curarse inicialmente por medio del riego o rocios, o por la aplicación de materiales selladores. Las superficies expuestas de la losa deben cubrirse totalmente y mantenerse húmedas o selladas hasta que el concreto esté lo suficientemente firme como para permitir que una persona camine sobre él sin dañarlo.

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

3.1.3 DURACION DEL CURADO

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

3.2 ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS

3.2.1 ALCANCE

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

3.2.2 PROCEDIMIENTO DE CURADO

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

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

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

3.2.3 DURACION Y PROTECCION DEL CURADO

En temperaturas por arriba de los 4 grados centígrados, el curado debe ser continuo por un mínimo de 7 días o durante el tiempo necesario para obtener el 70% de la resistencia a la compresión o a la flexión especificada, el periodo que resulte más corto. Si el concreto es colocado a una temperatura ambiente de 4 grados centígrados o más baja, deben tomarse las precauciones pertinentes para prevenir daños por congelamiento, según se especifica en la norma ACI 306-66. Para algunos elementos estructurales, como las columnas los cuales están compuestos de concreto de alta resistencia (420 kg/cm² o más), los periodos de curado se pueden aumentar hasta 28 días con el fin de permitir el desarrollo de la resistencia potencial del concreto. Si por alguna razón se requiere remover las cimbras de apoyo antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia requerida, deberán tomarse las medidas necesarias para efectuar un curado adicional bajo condiciones controladas.

3.3. CONCRETO MASIVO

3.3.1. ALCANCES

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

Se utiliza muy frecuentemente en pilotes, contrafuertes, presas, cimentaciones pesadas y otras construcciones masivas similares. El contenido de cemento o el total de material cementante varían normalmente entre 119 y 237 kg/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 reforzadas de grandes dimensiones, como presas, en donde el criterio de diseño es tal que se hace necesario establecer una temperatura razonablemente estable y uniforme en toda la masa tan pronto como resulta posible hacerlo después de la colocación, particularmente para evitar agrietamientos, la temperatura interna durante la hidratación no debe subir más de 11 grados centígrados por encima del promedio anual de temperatura ambiente. Para lograr lo anterior, además de una reducción en la temperatura de colocación, tal vez se requiera utilizar un sistema de enfriamiento dentro de la masa de concreto. El uso de un cemento con poco calor de hidratación, o de un contenido de cemento reducido en combinación con una puzolana, son también medidas efectivas para reducir la evolución de calor. En el informe del Comité ACI 207 se describen los métodos para controlar las temperaturas del concreto masivo.

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

3.3.3. METODOS Y DURACION DEL CURADO

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

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

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

3.4 ELEMENTOS PREFABRICADOS

3.4.1 ALCANCE

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

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

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

3.5. CONSTRUCCIONES ESPECIALES

3.5.1. CONSTRUCCION VERTICAL CON CIMBRAS DESLIZANTES

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

3.5.2 CONCRETO LANZADO

Debido a que el concreto lanzado usualmente se aplica en secciones muy delgadas y a que sus superficies son ásperas, generalmente se recomienda conservarlas húmedas continuamente por lo menos durante 7 días. Resulta conveniente aplicar membranas de curado si las condiciones de secado no son severas y si no va aplicarse pintura o concreto lanzado adicional y la apariencia es aceptable. Debido a la superficie áspera, el compuesto líquido para formar membranas de curado debe aplicarse con mayor espesor que en las superficies de concreto ordinarias, es decir, a aproximadamente 2.4 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. Pueden usarse cubiertas de estopa, pero deben conservarse saturadas de agua y una temperatura que mantenga al concreto a menos de 21 grados centígrados.

3.5.4. PINTURA DE CEMENTO Y ACABADOS SUPERFICIALES

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

3.5.5 "CASCARONES"

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

3.5.6 CONCRETO AISLANTE

Las superficies de concreto aislante, en donde se logra un peso unitario en seco de 800 kg/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 INGENIERÍA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

PRUEBAS FISICAS DEL CONCRETO PORTLAND

ING. ALBERTO BARRIENTO RIOS

APARATO DE VICAT

El cual consiste en una armazón, A, que lleva una barra móvil, B, la cual pesa 300 g y en uno de sus extremos, C, su diámetro es de 10 mm, con una longitud mínima de 50 mm, el otro extremo lleva una aguja de penetración de D, un mm. de diámetro y una longitud de 50 mm, la barra B es reversible y puede colocarse en cualquier posición por medio del tornillo, E, tiene un indicador ajustable, F, el cual se mueve a lo largo de la escala graduada en mm, que va fija en el armazón A, la pasta se coloca dentro de un anillo tronco cónico rígido, G, que descansa sobre una placa cuadrada, lisa y no absorbente, H, de 10 cm, por lado aproximadamente.

El anillo debe ser de un material inoxidable e impermeable, con un diámetro interior en la parte inferior de 7 cm, y 6 cm en la base superior y con una altura de 4 cm.

El aparato de vicat se utiliza para la determinación de consistencia normal fraguado falso y tiempos de fraguado.

"DETERMINACION DE LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS"
(METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)

Es el método para la determinación de la finura de los cementantes hidráulicos, en terminos de la superficie específica expresada en cm^2 x gramo de cementante, por medio de la permeabilidad que presenta una muestra de cementante al paso de aire.

Se define superficie específica, como al área total expresada en cm^2 por gramo de cementante.

Para la determinación se utiliza al aparato Blaine, consta esencialmente de una serie de dispositivos que tiene por finalidad hacer pasar el aire, a través de una capa preparada de cementante de porosidad definida. El número y tamaño de los poros esta en función del tamaño de las partículas contenidas en la capa del cementante y se determina la velocidad del paso del aire a través de dicha capa.

CELDA DE PERMEABILIDAD:

Consiste en un cilindro rígido, de vidrio o de metal inoxidable que no se amalgame con el mercurio, con diámetro interior de 12.7 ± 1 mm; la parte superior de la celda esta dispuesta en ángulo recto con respecto al eje de la misma. La parte inferior de la celda debe ajustar herméticamente con la parte superior del manómetro, en la parte interior de la celda y a 50 ± 15 mm, de la parte superior, se encuentra un reborde de 0.5 a 1 mm, de ancho para soportar el disco metálico perforado.

"DETERMINACION DE LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS"
(METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)

El disco debe ser de metal inoxidable y tener un espesor de 0.9 ± 0.1 mm y de 30 a 40 perforaciones de 1 mm, de diámetro, distribuidos simétricamente en la superficie del disco que debe ajustar perfectamente. El émbolo debe ser de acero inoxidable y ajustar en la celda con la holgadura de 0.1 mm su parte inferior es plana con sus aristas en escuadra formando un ángulo recto con su eje principal, debe tener escape de aire en el centro o en la orilla y en la parte superior una corona o collarín que no permita que penetre más el émbolo, la cama en donde coloca el cemento mide 15 ± 1 mm de altura. El papel filtro debe ser textura media y del mismo diámetro del interior de tubo. El manómetro consta de un tubo de vidrio en forma de "U" de 9 mm de diámetro nominal exterior, con un brazo lateral en donde se le coloca una llave que haga un cierre hermético a una distancia no mayor de 50 mm de la rama del manómetro. El líquido para el manómetro debe ser butil 1-2, bencen-dicarboxilo o bien un aceite mineral delgado, el manómetro se llena hasta la marca inferior, el líquido no debe ser volátil ni higroscópico.

El peso de la muestra debe ser el que se requiera para lograr una capa de cemento que tenga una porosidad de 0.500 ± 0.005 y se calcula como sigue:

$$P = D \cdot V (1 - E)$$

P = Peso de la muestra, en gramos

D = Densidad de la muestra de prueba (se considera 3.15 para c.p.)

V = Volúmen de la capa de cemento, en cm³

"DETERMINACION DE LA FINURA DE LOS CEMENTANTES HIDRAULICOS"
(METODO DE PERMEABILIDAD AL AIRE)

E = Porosidad deseada de capa de cemento (0.500 ± 0.005)

Teniendo el peso de la muestra, se pesa la cantidad con aproximación de 0.001 g, y se coloca en la celda, colocando un disco de papel filtro sobre el disco de metal y sus orilla se presionan con el émbolo de madera, ya colocada la muestra de cemento se dan unos golpecitos en los lados de la celda con el fin de poner a nivel la capa de cemento, sobre esta se coloca otro disco de papel filtro y se comprime el cemento con el émbolo del aparato, hasta que el collarín asiente en la parte superior de la celda se saca el émbolo con lentitud y se gira aproximadamente 90° y se vuelve a oprimir en cada determinación se deben usar discos de papel filtro nuevos. La celda se coloca en el tubo del manómetro y el aire contenido en la rama donde está colocada la celda se elimina el aire lentamente hasta que el líquido alcance la marca más alta, luego se cierra la llave, se pone en marcha el cronómetro en el momento en que el fondo del menisco del líquido en el manómetro llegue a la segunda marca y se detiene en el momento en que la parte baja del menisco llegue a la tercera marca; se registra el tiempo medido en segundos y se aplica la fórmula que generalmente ya se determino una constante la cual se multiplica por la raíz cuadrada del tiempo, se considera concreto el valor cuando dos determinaciones no defieran del 2% en caso contrario se repite hasta satisfacer esta condición, si en cuatro determinaciones no se obtiene dicha aproximación se debe revisar el procedimiento y el aparato.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO
(USANDO ESPECIMENES CUBICOS DE CINCO CENTRIMETROS 2")

MOLDES PARA LOS ESPECIMENES.- Los moldes serán de un material duro que no sea atacado por el mortero de (2") cinco cm. las caras interiores de los moldes serán superficies planas y no tendrán mas de 3 compartimientos cúbicos y podrán separarse en no más de dos partes.

REVOLVEDORA.- (batidora).- recipiente (olla) y paleta.- Se usará una revolvedora mecánica accionada con un motor eléctrico, una paleta y un recipiente para la mezcla según método de mezclado mecánico de morteros de cemento hidráulico de consistencia plástica.

MESA DE FLUIDEZ o DE FLUJO.- Es para determinar la fluidez de acuerdo al método especificado en la NOM-C-85 vigente.

APISONADO.- El apisonador se fabricará con material no absorbente, no abrasivo y no frágil, puede ser un compuesto de hule que tenga una dureza shore "A" de 80 ± 10 y tendrá una sección transversal de 12.7 mm. x 25.4 mm. y una longitud conveniente de ensayo.

MAQUINA DE COMPRESION.- El apoyo superior tendrá asiento esférico. La humedad relativa del laboratorio no será menor de 50%, en cuarto de humedad conservará una humedad relativa no menor de 90% y una temperatura de 23°. (más menos 2° C).

La arena usada para eleborar los espécimenes de ensaye será natural de sílice de altura graduada.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO
(USANDO ESPECIMENES CUBICOS DE CINCO CENTRIMETROS 2")

Las proporciones de los materiales secos con los cuales se fabrican los morteros estandar serán una parte de cemento y 2.75 partes de arena, el agua para los cementos tipo I, II y V será constante de 0.485 en peso y para los III, y Puzolanico será la necesaria para obtener una fluidez de 110 ± 5 determinada en la plancha de fluidez. Se hacen varios morteros con diferentes cantidades de agua hasta obtener la fluidez deseada.

Con la mezcla o mortero ya elaborado se coloca una capa de mortero mas o menos de 2.5 cm de espesor en todos los compartimientos de los moldes utilizados, apisonarse el mortero en cada compartimiento cúbico 32 veces en aproximadamente 10 segundos y en cuatro etapas. Cada etapa deberá formar ángulos rectos con la otra y consistirá de ocho golpes adyacentes sobre la superficie del espécimen, la presión de apisonado será justamente la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes terminada la 1era. capa, terminese el llenado con la 2da. capa apisonese y enrase con la cuchara casi totalmente inclinada, inmediatamente después de compeltar el moldeado, coloquese los especimenes en el cuarto o gabinete húmedo durante un lapso de 24 horas si se desmoldan antes conservese en los anaqueles de cuarto húmedo hasta que cumplan las 24 horas y después sumerjanse en agua los especimenes que no se vayan a probar, estos permaneceran en inmersión hasta que les toque el ensaye.

La carga se aplicará en las caras que hayan quedado con las caras planas del molde; se registrará la carga y se determina la resistencia a la compresión y se reporta el promedio del espécimen ensayado, y no se toma en cuenta los que esten defectuosos y que su valor sea menor del 10% del promedio.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MUESTRAS DE CEMENTO HIDRAULICO
(USANDO ESPECIMENES CUBICOS CINCO CENTRIMETROS 2")

LA TOLERANCIA PERMISIBLE ES:

EDAD DE ENSAYE	TOLEERANCIA PERMISIBLE
24 Horas	$\pm 1/2$ Hora
3 Días	± 1 Hora
7 Días	± 3 Horas
28 Días	± 12 Horas

Esta Norma establece el método para determinar el tiempo de fraguado de una pasta de cementantes hidráulicos, midiendo su resistencia a la penetración de la aguja de vicat.

PREPARACION DE LA PROBETA:

Se mezclan 500 g de cemento con el porcentaje de agua de mezclado, obtenido al determinar el agua de consistencia normal y de acuerdo al método para mezclado de pastas, obtenida la pasta y con las manos enguantadas se forma la pelotita y se introduce la pasta hidráulica al anillo por su parte del diámetro mayor se llena y el sobrante de la pasta sobre la base mayor se quita mediante un movimiento simple de la palma de la mano se coloca sobre la placa de vidrio y el sobrante se elimina como la cuchara inclinada ligeramente sobre la base superior si es necesario se alisa la superficie sin presionar la pasta una vez hecha la probeta se coloca en la cámara húmeda, después de 30 min. de haber permanecido en estas condiciones, se le determina la la. lectura con el agua, hasta obtener una penetración de 25 mm o menor para la determinación de la penetración, se baja la aguja hasta que quede en contacto con la superficie de la pasta, se fija el tornillo que sujeta la barra y se coloca el indicador en cero de la escalera o se toma una lectura inicial; se afloja el tornillo que sujeta la barra para que esta quede suelta y a los 30 seg. se hace la lectura, si la pasta se encuentra muy plástica en las penetraciones iniciales, las lecturas con la barra deben retardarse para evitar que pueda doblar la aguja. Las penetraciones o lecturas no deben tomarse a una distancia menor de 6 mm una de otras y ninguna de ellas se hará a una distancia menor de 9 mm de la parte interior del molde, se registran todas las texturas de las penetraciones y por interpolación se

determina la penetración de 25 mm; y que corresponde al tiempo de fraguado inicial; el tiempo de fraguado final es aquel en el que la misma aguja no penetra visiblemente en la pasta.

FRAGUADO FALSO DE CEMENTO PORTLAND (METODO DE PASTA).

FRAGUADO FALSO.- Es el desarrollo rápido de rigidez en una mezcla de pasta de cemento portland, mortero o concreto, sin la evolución de mucho calor, esta rigidez puede ser disipada y la plasticidad mediante mezclado posterior sin adición de agua.

PROCEDIMIENTO.- Se pesan 500 g. de cemento con suficiente agua para producir una pasta de cemento que colocada en tronco cónico rígido del VICAT de una penetración la barra del aparato VICAT de 32 ± 4 en un periodo de 30 segundos. El mezclado se hace siguiendo el procedimiento para mezclado de pasta solo que al final en lugar de ser un minuto serpa de 2 minutos 30 segundos. Una vez obtenida la pasta de cemento formese una bola con las manos protegidas con guantes de hule, se presiona la bola que descansa en la palma de la mano dentro del diámetro mayor del anillo cónico, deteniendose con la otra mano, llenando completamente el anillo con la pasta, remuevase el exceso de pasta en el extremo mayor por medio de un movimiento simple de la palma de la mano. Coloquese el anillo sobre la placa de vidrio y quitese el exceso de pasta de la parte superior del anillo por medio de la cuchara o regla metálica ligeramente inclinada con respecto a la superior del anillo y a la vez tratando de alizar teniendo cuidado de no comprimir la pasta, coloque la pasta confinada bajo la varilla del VICAT a una distancia de un tercio de borde de anillo, apriete el

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT

émbolo el cual se pondrá en contacto con la pasta de cemento, ahora colóquese el indicador móvil en la marca cero y dejese caer la varilla exactamente 30 segundos después de haber completado el mezclado. El aparato debe estar libre de vibraciones durante el ensaye. Se considera que la pasta tiene una resistencia adecuada cuando la varilla penetra 32 ± 4 mm debajo de la superficie original en 30 segundos para la penetración inicial, después de completar la lectura inicial remuevase el émbolo de la pasta, límpiase y colóquese nuevamente el anillo y la placa en una nueva posición, entonces pongase nuevamente el émbolo en contacto con la superficie de la pasta apriete el tornillo y colóquese en indicador móvil en la marca cero de la escala, déjese caer el émbolo por segunda vez cinco minutos después de haber transcurrido el período de mezclado; se determina la penetración final 30 seg. después de que el émbolo se ha dejado caer.

El informe mostrará el porcentaje de penetración como sigue:

$$\% \text{ DE PENETRACION FINAL} = \frac{\text{Penetración final} \times 100}{\text{Penetración inicial}} = \%$$

TIEMPOS DE FRAGUADO POR EL METODO DE GILMORE.

Esta Norma establece el método para determinar los tiempos de fraguado con la barra del Gilmore, que debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

Peso de la barra con esfera pequeña 113.4 f

Peso de la barra con la esfera mayor 442.7 g

Con una pasta preparada con el agua de la consistencia normal se elabora una pastilla en la placa de vidrio o no absorbente y se mete al cuarto húmedo, a los 30 minutos se empiezan hacer lecturas o penetraciones con la esfera menor, hasta que esta visiblemente no deje huella en la pasta, en este momento se considera el tiempo de fraguado inicial, después de 30 minutos del fraguado inicial se empiezan hacer lecturas con la esfera mayor hasta que la punta no deje huellas visibles en la pasta. Entonces en ese momento es el tiempo de fraguado final.

EXPANSION EN AUTOCLAVE DE CEMENTO PORTLAND.

Este método de ensaye pretende determinar la sanidad del cemento Portland por medio de un ensaye en autoclave de un espécimen de cemento limpio.

AUTOCLAVE.- La autoclave consistirá de un recipiente con vapor de alta presión, equipado con una válvula de seguridad y además contará con una válvula de desfogue para poder permitir el escape de aire durante la parte inicial del período de calentamiento y para liberar cualquier cantidad de vapor a presión que permanezca al final del período de enfriamiento. El manómetro tendrá una carátula de diámetro nominal de 114 mm. y estará graduado de 0 a 42.2 kg/cm² de 0 a 600 lb/pulg.² con divisiones de no mas de 0.35 kg/cm² o 5 lb/pulg.². La temperatura de trabajo en el autoclave será de 216°C y una presión de 20.7 ± 10 lb/pulg.² y para la formación del vapor se agregó 7 a 10 por ciento del

volúmen del autoclave.

Los moldes serán de 2.5 cm X 2.5 cm (1" por 1") de sección transversal y una longitud de 10 pulgadas 25.4 cm medido de la parte donde terminan los índices

La pasta de cemento consiste en 500 g. de cemento con agua suficiente para dar una pasta de consistencia normal y será mezclado de acuerdo al método de mezclado de pastas.

Obtenida la pasta se procede al llenado de moldes, estos serán moldeados en dos capas aproximadamente iguales, se compacta cada capa con los dedos pulgares o índices presionando las pastas en las esquinas, alrededor de los índices y a lo largo de la superficie del molde hasta que se obtenga un espécimen homogéneo, se lisa la parte superior del molde con la llana o regla metálica, durante esta operación las manos estarán protegidas con guantes de hule después de moldeados se colocan en el cuarto húmedo o gabinete a las 24 hs. + 30 minutos se desmoldan, se miden y se colocan en una canastilla para que todos estén expuestos al vapor saturado, después de permanecer tres horas en condiciones de trabajo antes mencionado se apaga el autoclave y deja enfriar, cuando se haya enfriado por la válvula de desfogé se elimina el resto de vapor que haya quedado dentro del autoclave se destapa y se sacan las barras y se introducen en un recipiente, ya preparado con agua caliente a 90°C se introducen y dejan ahí 15 minutos después de los cuales se le agrega agua fría al recipiente hasta que llegue la temperatura del agua fría, después de 15 minutos de permanecer en ese medio se sacan y se miden en el comparador; si la diferencia de la longitud de los especímenes de ensaye antes y después del proceso en el autoclave será

expresado como por ciento de la longitud efectiva de medición.

El porcentaje de incremento en longitud será reportado como expansión en autoclave y con signo positivo (+), la disminución en longitud será indicada con el signo menos (-) antepuestos ambos antes del valor en por ciento.

AGUA DE CONSISTENCIA NORMAL.

Es el agua necesaria para que 500 g. de cemento nos des una pasta de consistencia normal, y es el estado ideal para que una pasta de cemento sea moldeable, y en el aparato Vicat nos de una penetración de 10 ± 1 mm.

La pasta se obtiene mezclando el cemento en la mezcladora, procedimiento:

Se pone el agua, se agrega el cemento y se deja en reposo durante 30 segundos en seguida se empieza el mezclado en la primera velocidad durante 30 segundos, pasado este período se pasa lo mezclado y con una espátula de hule se baja todo el cemento que se haya pegado con la agitación en la parte superior de la olla, esta operación debe efectuarse en un lapso de 15 segundos inmediatamente se cambia a segunda velocidad y se inicia el mezclado por un período de un minuto, cuando se termino el mezclado con las manos protegidas con guantes de hule, se forma una bola la cual se pasa de una mano a otra, estando separadas las manos a unos 15 cm; la bola (de cemento) se introduce en el molde tronco-cónico por un diámetro mayor del aparato de Vicat llenando totalmente el molde y el sobrante se elimina con un movimiento simple de la palma de la mano. Colóquese el anillo sobre su diámetro mayor en la placa de vidrio y con

TIEMPOS DE FRAGUADO O DE SECADO POR EL METODO DE VICAT.

el borde afilado de la regla metálica quite el exceso formando un ángulo pequeño con respecto a la parte superior de la superficie del anillo, teniendo cuidado de no comprimir la pasta durante la operación de corte y alizado.

Coloque la pasta confinada bajo la varilla móvil del Vicat de tal manera que la varilla quede en contacto con la superficie de la pasta, entonces colóquese el indicador móvil en cero y dejese caer la varilla exactamente 30 segundos después de haber terminado el mezclado, el aparato estará libre de vibraciones durante la penetración, se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando la varilla se asiente 10 ± 1 mm. debajo de la superficie original en un lapso de 30 segundos. Hagase pastas de tanteos variando el porcentaje de agua hasta obtener esta consistencia.

La pasta así obtenida se utiliza para hacer las determinaciones de los tiempos de fraguado por el método de Vicat o el de Gilmore y se emplea también para hacer las barras para la determinación de expansión acelerada por el método de autoclave.

TAMIS No. 325.- Esta constituido con malla tejida de latón, bronce y otro alambre adecuado y montado sin distorsión en un marco de aproximadamente 1 cm. arriba de la parte inferior.

El marco debe ser circular con 5 cm. de diámetro o 2 pulgadas más menos 6.25 mm; la altura debe de ser de 75 ± 6.25 mm.

El factor de corrección de la malla es la diferencia entre la cantidad del residuo obtenido y la cantidad de residuo indicado por la finura específica de la muestra patrón expresado como porcentaje del primer residuo.

PROCEDIMIENTO.- Se pone una muestra de cemento de un gramo en el Tamíz limpio y seco, se le aplica un chorro de agua suavemente para humedecer la muestra sin provocar proyecciones y después ajustar la presión de trabajo (el chorro de agua es por medio de una regadera de material no corrosivo al agua cuyo diámetro será de 17.46 mm. exterior y con una serie de perforaciones en forma de cruz con eje en el centro y otra línea de perforaciones intermedios conformando eje también con el centro, entre cada perforación y estos a la vez formando un círculo cuyo diámetro es de perforación a perforación 6mm. de centro a centro y en el segundo círculo con ocho perforaciones la distancia de perforación a perforación y de centro a centro será de 11.1 mm., cada perforación será de 0.51mm. de diámetro).

El chorro de agua debe ser de una presión de (1 lb/in²) 0.7 kg/cm² y se le aplicará durante un minuto al Tamíz con el cemento dándole un giro en forma

DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DEL TAMIZ No.325

circular, luego se enjuaga con agua destilada y se seca en una placa metálica de bajo calor o en una estufa a $100 \pm 10^{\circ}\text{C}$; una vez seca se pesa y se realizan los cálculos teniendo en cuenta el factor de corrección el cual puede ser negativo o positivo y particular para cada Tamíz.

DETERMINACION DEL FACTOR DE CORRECCION DEL TAMIZ.

Residuo en la malla No.325 de la muestra estandar. (No. 114). 12.2 %

Residuo para un gramo de la muestra 0.122 g

Residuo en el Tamíz que se esta calibrando 0.093 g

Diferencia + 0.029 g

$$\text{Factor de corrección} = + \frac{0.029}{0.093} \times 100 = + 31.18\% = + 31.2\%$$

Factor de corrección = 31.2%

CALCULOS:

$$R_c = R_m (100 + C) = 0.088 \text{ g} (100 + 31.2) = 11.5 \%$$

$$F = 100 - R_c = 100 - 11.5 = 88.5\%$$

F' = Figura del cementante expresado como porcentaje corregido que paso por la malla.

R_c = Residuo corregido en porcentaje.

R_m = Residuo de la muestra retenido en la malla No. 325 expresado en g. (0.088 g).

F = Factor de corrección del Tamíz, el cual puede ser negativo o positivo (+ 31.2 %).

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE CEMENTANTES HIDRAULICOS

Se entiende por peso específico de los cementantes hidráulicos, la relación del peso del cementante en gramos entre el volumen en mililitros que desplaza al introducirse en un líquido; con el cual no se efectúa reacción química alguna.

Para la determinación se utiliza el frasco de lechatelier y el líquido recomendado es Kerosina, petróleo diáfano, con peso específico no menor de 0.730 g/ml.

Procedimiento.- Se llena el frasco con el líquido al nivel comprendido entre cero y un mil; la parte superior del frasco deberá secarse en caso necesario. La primera lectura se efectuará después de ajustarse la temperatura introduciendo el frasco en agua para que la temperatura del líquido no tenga variaciones de 0.2°C.

Se pesa aproximadamente 60g de cementante con una aproximación de 0.1g y se introduce en pequeñas porciones en el lechatelier estando éste a temperatura del laboratorio; se evitará que el cementante se pegue a las paredes interiores del cuello superior del frasco y tener cuidado de eliminar el aire que haya sido atrapado para esto se le pone el tapón al frasco y tomándolo con ambas manos se hace girar dándole una inclinación o bien dándole unos golpecitos girándolo en una superficie plana que lo protege de la ruptura.

La segunda lectura se deberá tomar estando el líquido en la parte graduada superior y después de sumergir el frasco en baño de agua durante un tiempo

suficiente para estabilizar la temperatura.

CALCULOS:

La diferencia entre el volúmen inicial y final representa el volúmen desalojado por el peso del cementante empleado en la prueba.

El peso específico se calcula como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso del cementante en gramos}}{\text{Volúmen del líquido desplazado, en ml.}}$$

Dos determinaciones del peso específico para la misma muestra no deben diferir en más de 0.01.

NORMAS QUE INVOLUCRAN EL ACREDITAMIENTO DE UN
LABORATORIO DE CEMENTO

NOM	ASTM	DESCRIPCION
49	430	FINURA EN 325 MALLAS
58	204	DETERMINACION DE BLAINE
57	187	CONSISTENCIA NORMAL
58	266	TIEMPOS DE FRAGUADO (GILLMORE)
59	191	TIEMPOS DE FRAGUADO (VICAT)
61	109	RESISTENCIA A LA COMPRESION
62	151	EXPANSION EN AUTOCLAVE
132	451	FRAGUADO FALSO (METODO DE PASTA)
150	184	FINURA EN 100 Y 200 MALLAS
152	188	DENSIDAD
148	511	CUARTOS DE CURADO
85	305	MEZCLADO MECANICO
144	230	MESA DE FLUIDEZ



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

Del 14 al 25 de noviembre de 1994.

NORMAS OFICIAL MEXICANA
NOM - C-122- 1982

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA PARA CONCRETO

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

1 9 9 4



SECRETARIA DE PATRIMONIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-C-122-1982

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGUA PARA
CONCRETO.

BUILDING. INDUSTRY - WATER FOR CONCRETE.

DIRECCION GENERAL DE NORMAS



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

NOM
C-122-1982

BUILDING. INDUSTRY - WATER FOR CONCRETE

0 INTRODUCCION

La necesidad de conocer los parámetros ideales que deben cumplir las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables para emplearse en la elaboración y curado del concreto hidráulico ha hecho que se elabore esta Norma Oficial Mexicana de Agua para Concreto.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

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

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

2 REFERENCIAS

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

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

3 DEFINICIONES

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

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

Referencias

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Revisiones sucesivas:

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

3.2 Aguas ácidas naturales.

Son aquellas que contienen una cantidad notable de gas carbónico libre, agresivo, ácido nítrico o ácidos húmicos y cuyo pH es inferior a 6. Estas, en general son de lluvia que disuelven en dióxido de carbono (CO_2) u óxidos nítricos del aire o que provienen de turberas o pantanos que por descomposición de la materia vegetal son ricas en ácidos húmicos.

3.3 Aguas fuertemente salinas.

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

3.3.1 Aguas alcalinas.

Son aquellas que han disuelto sales alcalinas de ácidos débiles y que tienen sales de potasio, litio u otros metales monovalentes del tipo alcalino. Estas aguas provienen generalmente de los terrenos graníticos o porfíricos en los que las aguas puras, y las ácidas descomponen los feldespatos alcalinos como la Albita y la Ortosa que tienen silicatos dobles de aluminio y de un metal alcalino.

3.3.2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).

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

3.3.3 Aguas cloruradas.

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

3.3.4 Aguas magnesianas.

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

Estas aguas provienen de terrenos dolomíticos que por acción del gas carbónico disuelto en el agua los hacen solubles por la transformación de los

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

3.3.5 Aguas de mar.

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

3.4 Aguas recicladas.

Se consideran como tales las que se usan para el lavado de unidades revolventoras de concreto y que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplean en la fabricación del concreto hidráulico. Estas por lo general tienen en suspensión alto porcentaje de finos del cemento y de los agregados sales solubles del cemento, de aditivos cuando se emplean éstos.

3.5 Aguas industriales

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

3.6 Aguas negras

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

3.7 Cementos portland ricos en calcio.

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

3.8 Cemento Sulforesistente

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

4 ACCION AGRESIVA DE LAS AGUAS

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto está en función de la ausencia de compuestos en ellas ó de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas ó en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites.

A continuación se describe la forma en que actúan.

4.1 Aguas puras

Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos.

cálcicos del concreto.

4.2 Aguas ácidas naturales

Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre (CO_2) y/o ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.

4.3 Aguas fuertemente salinas

Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, éstas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación. Como aguas de mezclado, su acción sobre la cal es la que interrumpe las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

4.3.1 Aguas alcalinas

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

4.3.2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).

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

4.3.3 Aguas cloruradas

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

4.3.4 Aguas magnesianas

Las aguas magnesianas que contienen sulfato de magnesio, son de las más agresivas por la gran solubilidad de éste y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.

3

Cuando se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis, su acción sobre la cal es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos portland con alto contenido de aluminato tricálcico.

4.3.5 Agua de mar

La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece al de las aguas se-lenitosas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de éstos - últimos su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumula-ción superficial de calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar.

Por otra parte el sulfato de calcio no está en el estado de saturación debido a - la presencia de otros sulfatos tales como el de magnesio, que forma un depósi-to de magnesio insoluble en los poros del concreto, también contribuye a dis-minuir su agresividad, la acción inhibidora, no despreciable, de los cloruros - sobre el ataque de los sulfatos. Sin embargo, el empleo del agua de mar en los concretos simples produce eflorescencias. En el concreto reforzado o prefor-zado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse pa- ra estos fines.

4.4 Aguas recicladas

Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables (ver 3.3.1., 3.3.2., y 3.3.3.) Por otra parte - si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y éstos no se toman en consi-deración, el concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos.

4.5 Aguas industriales

Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son per-judiciales para el concreto ya que contienen iones sulfato (SO_4^-), ácidos orgá-nicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibi-lidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolánicos y los de esco-ria de alto horno con bajo contenido de clinker.

4.6 Aguas negras

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

7.

Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas

Notas de la tabla 1.

Impurezas	Límites en p.p.m.	
	Cemento ricos en calcio	Cementos Sulfato-resistentes
Sólidos en Suspensión		
En aguas naturales (Limos y Arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (Finos de Cemento y Agregados)	50000	35000
Cloruros como Cl (a)		
Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puentes	400 (c)	600 (c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 (c)	1000 (c)
Sulfato como SO ₄ = (a)	3000	3500
Magnesio como Mg ⁺⁺ (a)	100	150
Carbonatos como CO ₃ =	600	600
Dióxido de Carbono disuelto, como CO ₂	5	3
Alcalis totales como Na +	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5

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

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

c.) Cuando se use cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, la cantidad de éste debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla.

51

5 ESPECIFICACIONES

Las aguas a las que se refiere esta Norma que se pretenden usar para la elaboración y curado del concreto hidráulico, excluyendo de ellas el agua de mar, - deben cumplir los requisitos que aparecen en la tabla 1.

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

El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites de la tabla 1, se puede utilizar si se demuestra que en concretos de características - semejantes elaborados con esta agua han acusado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición.

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

6 MUESTREO

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

7 METODOS DE PRUEBA

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

8 BIBLIOGRAFIA

- American Society for Testing and Materials 1980 Annual Book of
- Standars Part. 14 C-94 Spec. for ready mixed concrete.
- Au Pied Du Mur
Robert L ' Hermite
- Societe de Propagande et de Diffusion
Des Technique du Batiment.
- Biczoc. Concrete Corrosion 1967
- British Standard Institute
Bs 3148:80
Water for making concrete
(Including notes on the suitability of the water).

- Bureau of Reclamation, Concrete Manual 1979
U.S. Department of the interior.
- Concrete and Constructional Engineering.
Water for Mixina Concrete, 1947 London
- Concrete Technology
D.F. Orchard
Contractor'S Record Ltd.
Printe in G.B. by F. J. Parsons
limited of London 1958.
- Corps of Engineers US Army Hand Book for Concrete
and Cement, Requeriments for Water for Use in Mixing or Curing
Concrete CRD-C-400.
- Czerning W. La qufmica del Cemento. Edición en Español. 1962.
- Duriez, M. y Arrambideu. Nouveauxtraite des Materiau de la
Construction Vol. II
- Giesebe, F.E. and G.A. Parkinson effects of variors salts in the
mixing on the compressive strength of mortar. Boletín No. 2730, -
University of Texas Enginneering Research Series 1927.
- Hormigon y aditivos.
Texas, Barcelona.
- Keinlogel, A. Influences on Concrete New York Frederik Ungar
Publising Co.
- Lea y Desch. The Chemistry of Cement and Concrete 1937.
- L'Hermite. - Agua para Concreto. 1979.
- Liebs, W. Le Chance of Strength of Concrete by Using Sea Water
for Mixing and making Addition Too Concrete. Bautechnik, 1949
- Me Coy, W.J. Special Technical Publication 169 B. Chapter 43-
Mixing and Curing Water for Concrete. Philadelphia Pa. (c) 1979
- Normas de la Industria Alemana
DIN 4030 y PGL 11357 - 1962.
- Portland Cement Association Design And Control of Concrete Mixtures
Capítulo 3 Mixing Water for Concrete pag. 19 Onceava Edición 1968.
E.U.A.

9

- Plum, N.H., Cristrani and Nielsen Concrete Manual Boletín No. 39 Copenague Dinamarca 1944.
- Secretaría de Obras Públicas. Especificaciones Generales de Construcción Parte VIII 1976.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. Manual de Concreto. - 1970
- Steinour, H.H. Concrete Mix Water How Impure Can it Be. 1960 Portland Cement Association Research and Development Laboratories.
- Testing And Inspection of engineering. Materials third edition. H.E. Davis, G.E. Troxell C.T. Wiskocil McGraw Hill book Company, Inc. N.Y. and London.

México, D. F., a

EL DIRECTOR GENERAL DE
NORMAS COMERCIALES DE LA
SECRETARIA DE COMERCIO.

EL DIRECTOR GENERAL DE
NORMAS

LIC. HECTOR VICENTE BAYARDO
MORENO.

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS.

GLA/EPFR/JEDM/RAM/mept.



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

CURSOS ABIERTOS

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

Del 14 al 25 de noviembre de 1994.

**PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA MEDICION MEZCLANDO
TRANSPORTE Y COLORACION DEL CONCRETO**

(ANEXO)

1 9 9 4

CONTENIDO

Sinopsis	13
Capítulo 1. Introducción	15
1.1 Alcance	15
1.2 Objetivo	15
1.3 Otras consideraciones	16
Capítulo 2. Control, manejo y almacenamiento de materiales	17
2.1 Agregados	17
2.1.1 Agregado grueso	17
2.1.1.1 Tamaños	17
2.1.1.2 Control de material de menor tamaño	18
2.1.2 Agregado fino (arena)	18
2.1.3 Almacenamiento	19
2.1.4 Control de humedad	19
2.1.5 Muestras para pruebas	21
2.2 Almacenamiento del cemento	21
2.3 Almacenamiento de materiales puzolánicos	22
2.4 Aditivos	22
Capítulo 3. Medición	23
3.1 Requisitos generales	23
3.1.1 Objetivo	23
3.1.2 Tolerancias	23
3.2 Silos de almacenamiento y tolvas pesadoras	24
3.3 Tipo de planta	26
3.3.1 Dosificación manual	26
3.3.2 La dosificación semiautomática	26
3.3.3 Dosificación automática	26
3.3.3.1 Dosificación automática acumulada	27
3.3.3.2 Dosificación individual automática	27
3.4 Materiales cementantes	27
3.4.1 Dosificación de materiales cementantes	27
3.4.2 Descarga de materiales cementantes	28
3.5 Medición del agua	28
3.5.1 Equipo de dosificación	28
3.5.2 Determinación y compensación de la humedad del agregado	29
3.5.3 Agua de mezclado total	29

3.6	Medición de los aditivos	29
3.7	Medición de materiales para trabajos pequeños	30
3.8	Otras consideraciones	30
Capítulo 4. Mezclado		31
4.1	Requisitos generales	31
4.2	Diseño y mantenimiento de las mezcladoras	31
4.3	Carga de la mezcladora	32
4.4	Rendimiento de la mezcladora	32
4.5	Tiempo de mezclado para mezcladoras fijas	33
4.6	Temperatura de la mezcla	33
4.7	Remezclado	33
4.8	Descarga de la mezcladora	34
4.9	Concreto premezclado	34
Capítulo 5. Transporte del concreto		37
5.1	Consideraciones generales	37
5.2	Mezclado y transporte en camiones de tambor giratorio	37
5.2.1	Concreto mezclado en camión	38
5.2.2	Concreto mezclado parcialmente en planta fija y terminado en tránsito	38
5.2.3	Concreto dosificado en seco	38
5.3	Transporte de concreto mezclado en planta	39
5.3.1	Tambor giratorio	39
5.3.2	Camión de caja fija, con o sin agitador	39
5.3.3	Recipientes para concreto montados en camiones o carros de ferrocarril	39
5.3.4	Otros métodos	40
5.4	Objetivo final	40
Capítulo 6. Colocación del concreto		41
6.1	Consideraciones generales	41
6.2	Separación del agregado y mortero	42
6.3	Equipo de colocación	46
6.3.1	Tolvas de sección circular y rectangular	46
6.3.2	Carros manuales o motorizados "buggies"	46
6.3.3	Canalones y tubos de caída	46
6.3.4	Bandas transportadoras	47
6.3.5	Equipos de pavimentación	48
6.3.6	Cimbras deslizantes	49
6.4	Consolidación	49
6.5	Previsiones para manejar concreto de consistencia apropiada	50

Capítulo 7. Concreto de agregado precolocado		51
7.1	Consideraciones generales	51
7.2	Descripción de lechadas	51
7.3	Materiales	52
7.3.1	Cemento	52
7.3.2	Agregado grueso	52
7.3.3	Agregado fino	52
7.3.4	Puzolanas	52
7.3.5	Aditivos para la lechada	53
7.4	Dosificación de la lechada	54
7.5	Cimbras	55
7.6	Sistemas para tubería de lechada	55
7.6.1	Tuberías de entrega	55
7.6.2	Tubos de inserción de lechada	56
7.6.3	Pozos de sondeo	57
7.6.4	Tubos respiraderos	57
7.7	Colocación de agregado grueso	57
7.7.1	Cimientos	57
7.7.2	Colocación del agregado	58
7.7.3	Contaminación	59
7.8	Mezclado y bombeo de lechada	59
7.8.1	Mezcladoras	59
7.8.2	Bombas	60
7.8.3	Inyección de lechada	60
7.9	Construcción de juntas	61
7.10	Acabados	62
7.11	Control de calidad	62
Capítulo 8. Concreto vaciado por tubo-embudo (Tremie)		63
8.1	Consideraciones generales	63
8.2	Equipo y requisitos para el mezclado	63
8.3	Procedimiento	64
8.4	Características estructurales	65
8.5	Inspección	66
Capítulo 9. Bombeo de concreto		67
9.1	Consideraciones generales	67
9.2	Equipo de bombeo	67
9.2.1	Bombas de pistón	67
9.2.2	Bombas neumáticas	68
9.2.3	Bombas de presión "squeeze"	68
9.3	Tuberías y accesorios	68
9.3.1	Tuberías	68
9.3.2	Acoplamientos	70
9.3.3	Accesorios	70

SINOPSIS

9.3.4 Resistencia de la línea	70
9.4 Proporcionamiento de concreto bombeado.....	71
9.4.1 Consideraciones básicas	71
9.4.2 Agregados de peso normal	71
9.4.3 Agregados ligeros estructurales	72
9.4.3.1 Humedecimiento previo del agregado ligero.....	74
9.4.3.2 Saturación al vacío y térmica	75
9.4.3.3 Granulometría y peso unitario de agregados de peso ligero	76
9.4.4 Agua y revenimiento	76
9.4.5 Contenido de cemento	77
9.4.6 Aditivos	78
9.4.7 Mezclas de pruebas	79
9.4.8 Pruebas para bombeo	79
9.5 Prácticas de campo	79
9.6 Bombeo en revestimiento de túneles	80
9.7 Control de campo	81
Capítulo 10. Cimbra, limpieza y acabado	83
10.1 Cimbras	83
10.2 Limpieza—Preparación de juntas horizontales de construcción	84
10.3 Acabado de superficies	85
Capítulo 11. Fuentes de información	87
11.1 Normas del Cuerpo de Ingenieros y de la ASTM	87
11.1.1 Normas ASTM	87
11.1.2 Normas del Cuerpo de Ingenieros	88
11.2 Referencias	88
Comentarios	93

Se presentan métodos y procedimientos recomendados para la medición, mezclado, transporte y colocación de concreto. Se describen los mejores métodos en lugar de las prácticas comunes. Asimismo, las recomendaciones se hacen tomando como base lo que "debe hacerse", dejando al usuario la responsabilidad de adecuarlas al nivel que exijan las especificaciones de un determinado trabajo. Aunque muchas de estas recomendaciones pueden aplicarse a concretos especiales, se utilizan principalmente en concreto de peso normal.

Entre los temas tratados, figuran: control, manejo y almacenamiento de materiales, incluyendo puzolanas y aditivos; medición de los ingredientes; equipo de medición; tolerancias de dosificación; mezclado, incluyendo concreto premezclado; remezclado; tiempo de mezclado; y mezcladoras.

Se incluyen métodos de colocación, tales como: tolvas, cucharones, carritos, bandas transportadoras, canalones y tubos de caída. También se examina lo relativo al equipo para pavimentos.

Hay secciones dedicadas a las áreas especiales de: transporte de concreto en mezcladoras de tambor giratorio; transporte de concreto mezclado en planta; concreto con agregados precolocados; concreto y equipo de tolva tubería "tremie"; equipo y proporcionamiento para concreto bombeado; cimbras; limpieza y preparación de juntas; acabado de superficies.

Se presenta una extensa lista de referencias.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

Palabras clave: aditivos; granulometría de los los agregados; agregados; aire incluido; **dosificación;** contenido de cemento; almacenamiento de cemento; agregados gruesos; **construcción de concreto;** acabado del concreto (concreto fresco); **concretos;** consolidación; juntas de construcción; transporte; transportadores; curado; agregados finos; cimbra (construcción); lechada de cemento; lechadeado; inspección, concreto de agregados de peso ligero, agregados ligeros; saturación de líquido; concreto masivo; **manejo de materiales;** instrumentos de medición; proporcionamiento de mezclas; mezcladoras; **mezclado;** plantas mezcladoras; tiempo de mezclado; contenido de humedad; medidores de humedad; pavimentos; equipo para pavimentos; **colocación;** puzolanas; concreto con agregado precolocado; concreto bombeado; bombas; control de calidad; concreto premezclado; remezclado; segregación; construcción con cimbra deslizante; almacenaje; temperatura; tolerancias (mecánicas); camión-revolvedor; concreto de tolva y tubería "tremie"; construcción bajo el agua; vibrado; agua; relación agua/cemento; contenido de agua; humedecimiento; trabajabilidad.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Alcance

Esta práctica recomendada, bosqueja métodos y procedimientos para lograr buenos resultados en la medición y mezcla de ingredientes para el concreto, su transporte y colocación en la obra. Se presentan secciones sobre el transporte, bombeo "tremie" y concreto con agregado precolocado. Se revisan también equipos y métodos desarrollados recientemente. Las recomendaciones que se presentan, se aplican sobre todo al concreto de peso normal empleado en la construcción usual, aunque muchas de éstas también pueden aplicarse a concreto ligero, de alta densidad, poroso, tratado al vacío, y concreto pretensado o postensado.

1.2 Objetivo

Al hacer estas recomendaciones, el comité se guió por la siguiente filosofía:

1. Que el adelanto en el mejoramiento de la construcción con concreto, dará un mejor resultado mediante la presentación de altos estándares de uso, en lugar de "prácticas comunes". En este aspecto, algunos consideran que los sistemas inferiores son suficientes para sus propósitos, pero estas recomendaciones se proponen tomando como base lo que "debería hacerse", y por lo tanto, es responsabilidad del usuario considerar lo que "debe" aplicar, según las especificaciones de su trabajo y ver los resultados específicos que se obtengan.

2. Es evidente que los sistemas empleados para producir y colocar concreto de alta calidad, pueden ser tan económicos como aquellos que nos dan un concreto de baja calidad. Muchos de los sistemas recomendados en este estudio mejoran tanto la uniformidad como la calidad del concreto, de manera que el esfuerzo e inversión son recompensados con una mayor facilidad de operación y con porcentajes más altos de producción; ambos equilibran el costo potencial adicional.

3. Se supone que cualquiera que proyecte emplear estas recomendaciones, tiene un conocimiento básico de las prácticas generales en trabajos de concreto. Sin embargo, si el lector desea información específica sobre la medi-

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

ción, mezclado, transporte y colocación del concreto, debe consultar la lista de referencias que se halla al final de esta publicación, y especialmente las referencias del 1 al 8. En términos generales, el Comité 304 está de acuerdo con la información presentada en estas referencias, aunque se notarán algunas excepciones al hacerse hincapié en ciertos detalles. Para demostrar con mayor claridad ciertos principios tendientes a obtener un máximo de uniformidad, homogeneidad y calidad del concreto ya colocado, se incluyen ilustraciones de las prácticas, las que deben seguirse y las que deben evitarse.

1.3 Otras consideraciones .

Todos aquellos que se ocupan en trabajos de concreto, deben tomar en cuenta la importancia de mantener el contenido unitario de agua tan bajo como lo permitan los requisitos de colocación.^{2-6, 8} Aunque la relación agua/cemento se mantenga constante, un aumento del agua por unidad también aumenta potencialmente el agrietamiento por contracción durante el secado, y con este agrietamiento el concreto pierde parte de su durabilidad y otras características deseables, por ejemplo: su acción monolítica y baja permeabilidad. Cuando se aumenta arbitrariamente agua, se incrementa la relación agua/cemento, y tanto la resistencia como la durabilidad se afectan adversamente. A medida que la cimbra se llena con la correcta combinación de sólidos y la menor cantidad posible de agua, mejor será el concreto resultante. Debe practicarse un uso moderado en la cantidad de agua, cemento y agregado fino, junto con el uso del agregado graduado al tamaño máximo permitido por las aberturas de la cimbra y el espacio entre el refuerzo. También debe emplearse la estricta cantidad de cemento que se requiera para obtener la resistencia adecuada y otras propiedades esenciales. Únicamente se empleará la cantidad de agua y agregado fino que se requiera para hacer fácil su manejo, y obtener así una buena colocación y consolidación por medio de la vibración.

CAPITULO 2

CONTROL, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

2.1 Agregados

Los agregados fino y grueso, al descargarse en la tolva dosificadora por peso, deben ser de buena calidad, uniformes en granulometría y contenido de humedad. La producción de un concreto uniforme será difícil si no se siguen las especificaciones relativas a la selección, preparación y manejo adecuado de los agregados (fig. 2.1).⁹

2.1.1 Agregado grueso

2.1.1.1 Tamaños

La segregación en un agregado grueso se reduce prácticamente al mínimo, mediante la separación del material en fracciones de varios tamaños y la dosificación de estas fracciones por separado. A medida que la variedad de tamaños de cada fracción disminuye y el número de separaciones por tamaño aumenta, la segregación disminuye aún más. El control eficaz de segregación y de materiales de menor tamaño que lo normal se logra adecuadamente cuando la proporción de medidas máximas a mínimas en cada fracción se mantiene a no más de cuatro, para agregados menores de 25.4 mm (1 pulgada) de diámetro, y de dos, para los tamaños mayores.

Ejemplos de algunas maneras de agrupar fracciones de agregados:

Ejemplo 1

4.76 hasta 20 mm ($\frac{3}{16}$ * hasta $\frac{3}{4}$ de pulgada)
20 hasta 40 mm ($\frac{3}{4}$ hasta 1½ pulgada)
40 hasta 75 mm (1½ hasta 3 pulgadas)
75 hasta 150 mm (3 hasta 6 pulgadas)

* Malla No. 4.

Ejemplo 2

4.75	hasta	13 mm (³ / ₁₆ *)	hasta	1 pulgada)
13	hasta	25 mm (1/2)	hasta	1 pulgada)
25	hasta	50 mm (1)	hasta	2 pulgadas)
50	hasta	100 mm (2)	hasta	4 pulgadas)

2.1.1.2 Control de material de menor tamaño

Se define por esta práctica recomendada el material de menor tamaño de una fracción dada de agregados, como aquel material que pasa un análisis granulométrico con aberturas de 5/6 del tamaño mínimo especificado de la fracción de agregados.² Para un control eficaz de granulometría, es esencial que las operaciones de manejo no aumenten significativamente la cantidad de los materiales de menor tamaño en los agregados, antes de su uso en concreto (figs. 2.1a, 2.1b, 2.1c). La granulometría de los agregados al entrar en la mezcladora debe ser uniforme y dentro de los límites especificados.⁹ Los análisis de mallas del agregado grueso deben practicarse con frecuencia, para asegurarse que cumple con los requisitos de granulometría. Cuando se emplean dos o más tamaños de agregado, deben hacerse cambios en las proporciones de los tamaños las veces que sea necesario, para mejorar la granulometría total del agregado combinado. En casos en que los límites especificados de granulometría no puedan lograrse convenientemente, deben seguirse métodos de manejo especial. Cuando los métodos usuales de manejo no son satisfactorios, se eliminarán eficazmente los materiales de menor tamaño no deseables mediante recibado del agregado grueso en la planta de mezclado. Los materiales de tamaño menor en las fracciones de agregados menores pueden reducirse efectivamente hasta en un dos por ciento, mediante un recibado inmediatamente antes del almacenamiento en las tolvas de la planta de dosificación.

2.1.2 Agregado fino (arena)

El agregado fino debe controlarse para reducir al mínimo las variaciones en la granulometría, manteniendo uniformes las fracciones más finas y teniendo cuidado de evitar la excesiva eliminación de los finos durante el proceso.

Si la relación de agregado fino a grueso se ajusta a las recomendaciones ACI para el proporcionamiento de mezclas,^{10, 11} puede utilizarse una amplia gama de granulometría de agregados finos.¹² Sin embargo, las variaciones en granulometría durante la producción de concreto deben ser reducidas al mínimo y ésta debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33,¹³ de tal forma que el módulo de finura del agregado fino se mantenga entre el valor de diseño, ± 0.20 .

* Malla No. 4.

La cantidad y naturaleza del material más fino que la malla Núm. 200 ha de recibir atención especial. Como se reconoce en la norma ASTM C33,¹² si este material es "polvo de piedra o fluorita" esencialmente libre de arcilla, esquisto y de partículas suaves o livianas, se permiten porcentajes mayores de partículas más finas que la malla Núm. 200. Sin embargo, si se tiene lo contrario, las cantidades permisibles deben reducirse significativamente. La prueba californiana de equivalentes de arena se usa frecuentemente para determinar cuantitativamente el tipo, cantidad y actividad de este material fino.¹¹ Las cantidades excesivas de finos menores que la malla Núm. 200, aumentan el requerimiento de agua de mezclado, la velocidad de pérdida por revenimiento, la contracción por secado y reducen la resistencia.

No se debe tratar de combinar dos tamaños de agregado fino alternando su colocación en depósitos o al cargar carros o camiones. Los resultados satisfactorios se obtienen cuando fracciones de diferentes tamaños se combinan al fluir en una corriente desde compuertas o alimentadores regulados. Sin embargo, el método más positivo de control para una amplia gama de condiciones de planta y trabajo consiste en el almacenamiento, manejo y dosificación por separado de las fracciones gruesas y finas.

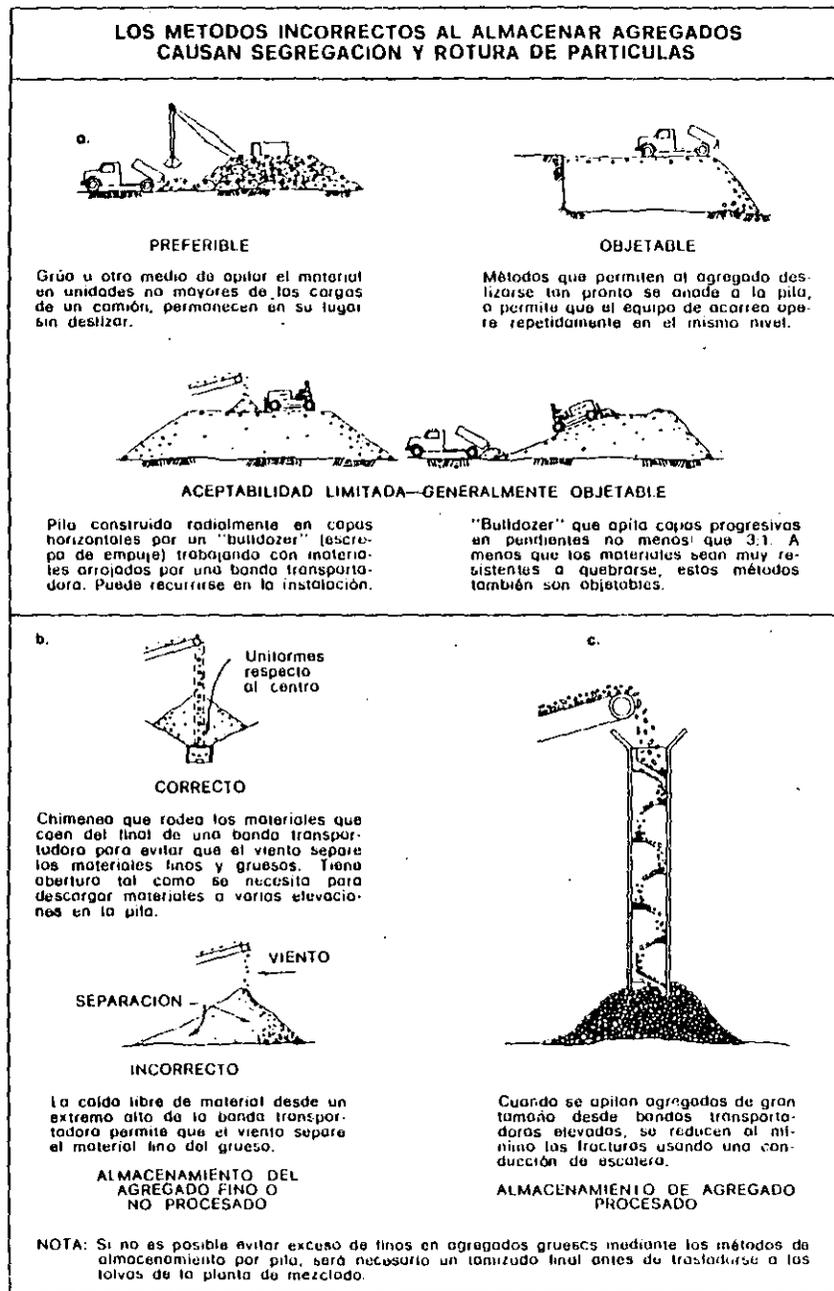
2.1.3 Almacenamiento

El almacenaje en montones de agregado debe mantenerse al mínimo, pues aun bajo condiciones ideales los finos tienden a acumularse. Sin embargo, cuando es necesario almacenar en montones, el uso de métodos incorrectos acentúa problemas con los finos y también causa segregación, rompimiento del agregado y una excesiva variación en la granulometría. Los montones deben construirse en capas horizontales o suavemente inclinadas, no por volteo. Sobre los montones no deben operarse camiones, bulldozers, u otros vehículos, puesto que, además de quebrar el agregado, a menudo dejan tierra sobre los depósitos (fig. 2.1 a). Debe tenerse una base dura para evitar la contaminación del material con el del fondo, y el traslape de los diferentes tamaños debe evitarse mediante muros apropiados o amplios espacios entre los montones. No debe permitirse que el viento separe los agregados finos secos (fig. 2.1b), y los depósitos no deben contaminarse oscilando cucharones o cangilones sobre los diferentes tamaños de agregados almacenados en montones.

Las tolvas de agregados deben mantenerse tan llenas como sea práctico, para reducir al mínimo el resquebrajamiento y los cambios de granulometría al extraer los materiales. Los materiales deben depositarse verticalmente en las tolvas y directamente sobre el orificio de salida (véase fig. 3.2b).

2.1.4 Control de humedad

Hay que hacer un esfuerzo para asegurar un contenido de humedad estable en el agregado cuando sea dosificado. El uso de agregados que tienen



cantidades variables de agua libre, es una de las causas más frecuentes de la pérdida de control de la consistencia del concreto (revenimiento). En algunos casos puede ser necesario mojar el agregado grueso en los montones de almacenamiento o en las bandas transportadoras, para compensar el alto grado de absorción, o suministrar enfriamiento. En estos casos, los agregados deben pasarse sobre cribas secadoras apropiadas, para impedir que el exceso de agua libre vaya a las tolvas.

Debe darse tiempo suficiente para el drenaje del agua libre del agregado fino, antes de trasladarlo a las tolvas de la planta de dosificación. El tiempo de almacenaje que se necesita depende sobre todo de la granulometría y forma de las partículas del agregado. La experiencia ha demostrado que un contenido de humedad libre hasta del 6 por ciento, y de vez en cuando hasta del 8 por ciento, se mantendrá estable en el agregado fino. Sin embargo, algunas empresas que se dedican a la colocación de concreto a gran escala exigen que la variación de humedad en el agregado fino no sea mayor del 2% en 8 horas, o del 0.5% en 1 hora.⁹

La insistencia en un contenido de humedad estable en el agregado, el uso de medidores de humedad para indicar variaciones en la humedad del agregado fino al dosificarlo, y el uso de compensadores de humedad para el rápido ajuste de peso en la dosificación, pueden reducir al mínimo la influencia de la variación de humedad en el agregado fino.^{16, 18}

2.1.5 Muestras para pruebas

Las muestras representativas de los diferentes tamaños de agregado que se dosifican deben tomarse lo más cerca posible del punto de su mezcla con el concreto. La dificultad en conseguir muestras representativas aumenta de acuerdo con el tamaño del agregado. Por lo tanto, los aparatos de muestreo que se utilizan requieren un cuidadoso diseño si han de obtenerse resultados de pruebas significativos.

Es buena práctica mantener un promedio registrado de 5 a 10 pruebas de granulometrías anteriores, eliminando los resultados de las más antiguas y agregando las más recientes al total sobre el cual se calcula el promedio. Esta granulometría promedio puede emplearse tanto para el control de calidad como para dosificar la mezcla.

2.2 Almacenamiento del cemento

Todo el cemento debe almacenarse en estructuras protegidas contra la intemperie; apropiadamente ventiladas, para impedir la absorción de humedad.

Las facilidades de almacenamiento para cemento a granel deben incluir compartimientos separados para cada tipo de cemento que se utiliza. El interior de un silo de cemento debe ser liso, con una inclinación mínima de 50 grados respecto a la horizontal en el fondo, para un silo circular, y desde 55 a 60 grados para un silo rectangular. Los silos que no sean de construc-

Fig. 2.1. Métodos correctos e incorrectos de manejo y almacenamiento de agregados.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTÉ Y COLOCACION DEL CONCRETO

ción circular deben estar provistos de cojines de deslizamiento que no se atasquen, por los cuales se puedan introducir a intervalos pequeñas cantidades de aire a baja presión de hasta 5 psi (aproximadamente 0.2 – 0.4 kgf/cm²), para soltar el cemento que se haya compactado dentro de los silos. Se ha de tener cuidado de emplear cantidades mínimas de aire, puesto que en algunas áreas de clima seco el empleo de aire ha dado al cemento características anormales de fraguado. Los silos de almacenamiento deben ser vaciados con frecuencia, preferentemente una vez por mes, para impedir la formación de costras de cemento.

Cada compartimiento del silo desde el cual se dosifica el cemento debe tener su propia entrada de tornillo sinfin, deslizador de aire, alimentador rotatorio u otra condición que combine eficazmente las características de flujo constante con corte preciso, para lograr un exacto pesado automático del cemento.

Debe tenerse cuidado de evitar el traslado del cemento a un silo que no le corresponda, y emplear métodos eficaces para eliminar la incomodidad del polvo durante la carga y traslado.

El cemento envasado en sacos debe ser apilado sobre plataformas, para permitir la apropiada circulación de aire. Para un periodo de almacenamiento de menos de 60 días, se recomienda evitar que se superpongan más de 14 sacos de cemento, y para periodos mayores no deben superponerse más de 7 sacos. Como precaución adicional, se recomienda que se utilice primero —hasta donde sea posible— el cemento más viejo.

2.3 Almacenamiento de materiales puzolánicos

Las puzolanas y otros materiales cementantes deben manejarse, trasladarse y almacenarse de la misma manera que el cemento.

2.4 Aditivos

Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tambores o tanques herméticos, protegidos de la congelación. La agitación de estos materiales durante su uso debe hacerse de acuerdo con las indicaciones dadas por el fabricante.

Con frecuencia es también conveniente licuar aditivos fabricados en forma de polvo para disolverse. Cuando esto se hace, los tambores o tanques de almacenaje, desde los cuales se suministrarán los aditivos, deben estar provistos de equipo de agitación o mezclado, para mantener los sólidos en suspensión.

Los requisitos para el almacenaje de aditivos en polvo deben ser los mismos que para el almacenaje de materiales cementantes. Las recomendaciones detalladas para el almacenaje y manejo de aditivos las proporciona el comité 212 del ACI en su informe "Guide for use of admixtures in concrete" ("Guía para el uso de aditivos en concreto").²¹

CAPITULO 3 MEDICION

3.1 Requisitos generales

3.1.1 Objetivo

Durante las operaciones de medición, los agregados deben manejarse de tal manera que mantengan la granulometría deseada, pesándose todos los materiales a la tolerancia requerida para mantener homogéneas las reproducciones de la mezcla de concreto escogida. Además del peso exacto, otro objetivo importante para el éxito del mezclado es la apropiada secuencia y combinación de los ingredientes durante la carga de las mezcladoras.^{7, 17} El objetivo final es obtener uniformidad y homogeneidad en el concreto producido, como lo indican propiedades físicas tales como: peso unitario, revenimiento, contenido de aire, resistencia, y el contenido del mortero libre de aire en las sucesivas cargas de las mismas proporciones de mezcla.^{2, 9-8, 17}

3.1.2 Tolerancias

La mayoría de las organizaciones de ingeniería, tanto públicas como privadas, emiten especificaciones que contienen requisitos detallados para el equipo de dosificación manual, semiautomático y automático de concreto.^{2, 4, 6, 8}

El equipo de dosificación, de los que hay actualmente en el mercado, operará dentro de las tolerancias de peso de carga usualmente especificadas, mientras se mantenga mecánicamente en buen estado.

El documento "Concrete Plant Standards of the Concrete Plant Manufacturer's Bureau" es frecuentemente utilizado para determinar la exactitud de la báscula y la dosificación.^{18, 19} The National Bureau of Standards Handbook 44, "Specifications, Tolerances, and other Technical Requirements for Commercial Weighing and Measuring Devices",¹⁹ también se utiliza en muchas agencias de especificación para propósitos de exactitud de báscula. Las tolerancias frecuentemente usadas en la medición se proporcionan en la tabla 3.1.2.

Otros requisitos comúnmente utilizados abarcan básculas de balancín o graduaciones de escala de 0.1% de la capacidad total e **intercierre de dosi-**

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

ficación de $\pm 0.3\%$ de la capacidad total al cero de la balanza,^{18, 20} la cantidad de aditivo pesado nunca ha de ser más pequeña que un 0.4% de la capacidad total de la báscula excedida en 3% del peso requerido;²¹ es también muy importante el aislamiento del equipo de dosificación respecto de la vibración de la planta; la protección de los controles automáticos librándolos del polvo y temperatura, y la frecuente comprobación y limpieza de la báscula y de los puntos de apoyo. Con buena inspección y operación de la planta, se puede esperar que el equipo de dosificación se comporte consistentemente dentro de las tolerancias requeridas.

3.2 Silos de almacenamiento y tolvas pesadoras

Los silos de la planta dosificadora tendrán el tamaño adecuado para alimentar eficazmente la capacidad productora de la planta. Los compartimientos de los silos deben separar adecuadamente los diversos materiales del concreto, y la forma y disposición de los silos para agregado se han de tal manera que prevengan la segregación y rotura del agregado. Las tolvas pesadoras deben ser cargadas mediante cajones de concha de almeja o del tipo de socavación radial de fácil operación. Las compuertas empleadas para cargar dosificadores semi o totalmente automáticos deberán estar equipadas con motor y con un apropiado control de "goteo" que logren la exactitud deseada de peso. Las tolvas pesadoras dispondrán del debido acceso para tener muestras representativas, o para lograr la apropiada secuencia y com-

TABLA 3.1.2. TOLERANCIAS TÍPICAS DE DOSIFICACION

Ingredientes	Pesos de carga mayores que el 30 por ciento de la capacidad de la báscula		Pesos de carga menores que el 30 por ciento de la capacidad de la báscula	
	Mezclado individual	Mezclado acumulado	Mezclado individual	Mezclado acumulado
Cemento y otros materiales cementantes	1 por ciento y 0.3 por ciento de la capacidad de la báscula, el que sea mayor		No menor que el peso requerido ni más de 4 por ciento del peso requerido	
Agua (por volumen o peso), en por ciento	± 1	No recomendado	± 1	No recomendado
Agregados por ciento	± 2	± 1	± 2	± 0.3 por ciento de la capacidad de la báscula o ± 3 por ciento del peso acumulado requerido, el que sea menor
Aditivos (por volumen o peso), por ciento	$+ 3$	No recomendado	± 3	No recomendado

MEDICION

binación de agregados durante la carga de la mezcladora. En la fig. 3.2 se presentan ilustraciones indicando el diseño y el arreglo apropiados para los silos de la planta dosificadora y de las tolvas pesadoras.

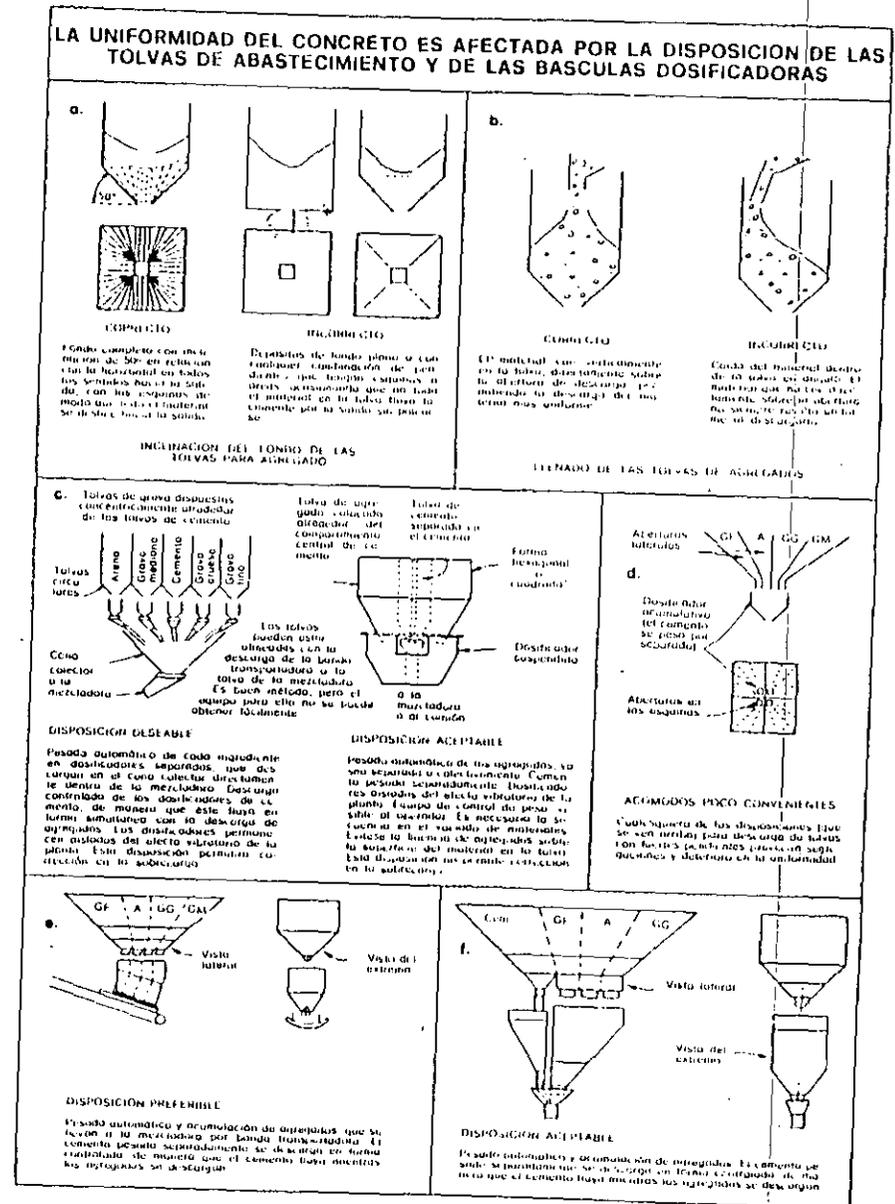


Fig. 3.2. Métodos correctos e incorrectos de dosificación.

3.3 Tipo de planta

Los factores que afectan la selección del sistema apropiado de dosificación son: 1) tamaño de la obra; 2) volumen/hora requerido; y 3) normas de rendimiento que se requieren en la dosificación.

La capacidad productiva de una planta se determina por una combinación de detalles tales como: sistemas de manejo de materiales, tamaño del silo, tamaño de la tolva dosificadora y tamaño y número de la mezcladora de la planta. El equipo disponible se clasifica en tres categorías generales: manual, semiautomático y totalmente automático.¹⁵

3.3.1 Dosificación manual

Como su nombre lo indica, todas las operaciones de pesado y dosificación de los ingredientes del concreto se llevan a cabo manualmente. Las plantas manuales son aceptables para trabajos pequeños que no requieren grandes volúmenes de dosificación, generalmente para trabajos hasta de 400 m³, a razón de 15 m³/hr (5 000 yd³ y 25 yd³/hr), pero al incrementarse el tamaño de la obra, la automatización de las operaciones de dosificación se justifica. Los esfuerzos para aumentar la capacidad de plantas manuales mediante dosificación rápida conducen invariablemente a excesivas inexactitudes en el peso.

3.3.2 La dosificación semiautomática

En este sistema, las compuertas de las tolvas de los agregados para cargar las tolvas medidoras, se operan manualmente mediante botones o interruptores de presión. Las compuertas se cierran automáticamente cuando el peso estipulado del material ha sido pesado. Con un mantenimiento satisfactorio de la planta, la exactitud de la dosificación se mantendrá dentro de las tolerancias indicadas en la sección 3.1.2. El sistema tiene interruptores que impiden que la carga y descarga de la dosificadora ocurra simultáneamente. En otras palabras, cuando la tolva pesadora está siendo cargada no puede ser descargada, y cuando se está descargando, no puede cargarse. Es esencial facilitar la inspección visual de la carátula de la báscula para cada material que esté siendo pesado.

3.3.3 Dosificación automática

En este sistema la dosificación automática de todos los materiales se maneja eléctricamente por medio de un solo control de mando. Sin embargo, hay interruptores que cortan el ciclo de la dosificación cuando el indicador de la báscula no ha regresado a $\pm 0.3\%$ del cero de la báscula, o cuando se exceden las tolerancias de peso predeterminadas que se detallan en la sección 3.1.2.

3.3.3.1 Dosificación automática acumulada

Se requieren controles de **interruptores en secuencia** para este tipo de dosificación. El pesado no empezará, y se interrumpirá automáticamente cuando las tolerancias predeterminadas dentro de cualquier secuencia de pesado excedan los valores que se dan en la sección 3.1.2. El ciclo de carga no empezará mientras la compuerta de descarga de la tolva dosificadora esté abierta, y el ciclo de descarga de la tolva dosificadora no empezará mientras sus compuertas de carga estén abiertas, o cuando cualesquiera de los pesos indicados para los materiales no estén dentro de las tolerancias aplicables. Los pesos prefijados deseados para las mezclas se hacen mediante dispositivos tales como tarjetas perforadas, interruptores digitales o discos rotarios. Los pesos determinados, el comienzo del ciclo de la mezcla y su descarga, se controlan manualmente. Los selectores para el volumen de la mezcla y dosificación, los medidores de humedad del agregado fino, los compensadores de humedad del agregado controlados manualmente, y los dispositivos gráficos o digitales para registrar el peso de cada material para la mezcla, constituyen el equipo suplementario que debe exigirse para el buen control de la planta.^{15,16} Este tipo de sistema de dosificación proporciona mayor exactitud en la producción a alta velocidad que en el caso de los sistemas manuales o semiautomáticos.

3.3.3.2 Dosificación individual automática

Este sistema provee básculas y tolvas medidoras separadas para cada tamaño de agregado y para cada uno de los otros materiales que entran en la mezcla. El ciclo de pesado se inicia mediante un interruptor sencillo, y las tolvas medidoras individuales se cargan simultáneamente. Los interruptores para cortar los ciclos de pesado y de descarga cuando las tolerancias se han excedido, los selectores de la mezcla, los medidores y compensadores de humedad en el agregado y los registradores, difieren solamente en detalles de los descritos para los sistemas automáticos de dosificación acumulada.

3.4 Materiales cementantes

3.4.1 Dosificación de materiales cementantes

Para una alta producción que requiera una dosificación rápida y exacta, se recomienda que los cementos y puzolanas a granel se pesen con equipo automático, y no semiautomático o manual. Todas las tolvas medidoras deben estar provistas de un acceso para su inspección y estar equipadas para permitir que se tomen muestras en cualquier momento. Las tolvas medidoras deben ser equipadas con dispositivos para ventilación y vibradores para ayudar a lograr una suave y completa descarga del material.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

Deben utilizarse las mismas tolerancias para la escala en "cero", y por pesado, descritas en la sección 3.1.2. El cemento o puzolana en sacos, empleado en trabajos pequeños, dosificado manualmente, debe medirse en unidades no menores que un saco, a menos que las fracciones de saco sean pesadas.

3.4.2 Descarga de materiales cementantes

Deben tomarse precauciones eficaces para evitar pérdidas de los materiales cementantes al cargar la mezcladora. No debe permitirse la caída libre del cemento de las tolvas dosificadoras. En plantas de paradas múltiples, las pérdidas deben minimizarse descargando el cemento a través de una manguera estrecha. En planta de parada única, el cemento puede cargarse con buen resultado junto con el agregado, a través de conductos telescópicos de hule. Para mezcladoras de planta, debe emplearse un tubo de tamaño adecuado para descargar los materiales cementantes en un punto cerca del centro de la mezcladora, después de que el agua y los agregados hayan empezado a entrar en ella. Se contribuirá de manera notable a mantener la uniformidad entre mezcla y mezcla, ordenando y combinando los diversos ingredientes dentro de la mezcladora durante la operación de carga.⁷

3.5 Medición del agua

3.5.1 Equipo de dosificación

En las obras grandes y en plantas centrales de dosificación y mezclado, donde se requiera una producción alta, sólo puede conseguirse una medición de agua exacta mediante las tolvas pesadoras automáticas o medidores. El equipo y los métodos que se empleen deben ser capaces, bajo todas las condiciones de operación, de lograr una medición rutinaria exacta dentro de la tolerancia de uno por ciento especificada en la Sección 3.1.2. Se pueden permitir tanques o cilindros verticales con descarga de sifón central, como una parte auxiliar del pesado, pero no deben emplearse como medio directo de medición. El equipo para la dosificación de agua en camión revolvedor debe inyectar el agua bajo presión dentro del tambor, donde se distribuirá bien en la revoluta. Todo el equipo para la medición del agua debe ser diseñado para lograr una fácil calibración, de manera que el grado de exactitud de la medición pueda comprobarse rápidamente.

3.5.2 Determinación y compensación de la humedad del agregado

Además de la exacta dosificación del agua que se agrega, la medición del total exacto del agua de la mezcla, depende del saber con exactitud la cantidad y variación de humedad en el agregado (particularmente en la arena), al dosificarlo. Los medidores de humedad en la arena se emplean frecuen-

MEDICION

temente en las plantas, y cuando están debidamente calibradas y tienen mantenimiento adecuado, indican satisfactoriamente la magnitud general y los cambios en el contenido de humedad en la arena. El equipo para compensar la humedad también debe utilizarse, y, mediante un ajuste único, reproporciona los pesos del agua y del agregado fino por cambios en el contenido de humedad del agregado. Los compensadores de humedad se utilizan generalmente para la arena, pero de vez en cuando se emplean también para el tamaño menor del agregado grueso. El ajuste para la humedad en los compensadores se hace manualmente mediante carátulas calibradas, botones o palancas con que están provistos. Hasta ahora, los resultados logrados por los medidores de humedad, no han sido suficientemente exactos como para garantizar su acoplamiento con los compensadores para la operación automática. Sin embargo, su empleo individual se recomienda, y cuando se usan en conjunción con pruebas convencionales de control de humedad llevadas a cabo regularmente, pueden ser herramientas útiles para mantener un control satisfactorio del agua de mezclado calculada.

3.5.3 Agua de mezclado total

Mantener uniformidad en la medición del agua para el mezclado total implica, además del peso exacto del agua añadida, un control de las fuentes de agua adicionales, como son el agua para el lavado de la mezcladora, el hielo y el agua libre en los agregados. Una de las tolerancias especificadas (ASTM C94), para exactitud en la medición del agua de mezclado total de todas las fuentes, es de $\pm 3\%$. Otra recomendada por el comité, es que la variación en la relación agua/cemento no exceda de ± 0.02 .

3.6 Medición de los aditivos

El empleo de aditivos en el concreto, particularmente agentes inclusores de aire, es una práctica universalmente aceptada. La tolerancia de dosificación (Sección 3.1.2) y la interrelación de carga y descarga descritas anteriormente para otros ingredientes de la mezcla, deben ser provistos para los aditivos. La dosificación y el equipo de distribución que se usa debe calibrarse fácilmente. Un requisito mínimo de comprobación cuando se emplean surtidores controlados por reloj (timer), debe ser unos tubos de inspección visual, en conjunto con la operación de dosificación.

Para información adicional sobre prácticas recomendadas para el uso y suministro de aditivos en el concreto, el lector puede referirse al informe del ACI, Comité 212, "Guide for Use of Admixtures in Concrete".²¹

3.7 Medición de materiales para trabajos pequeños

En ocasiones el volumen de concreto en un trabajo es tan pequeño, 75 m³ (100 yardas cúbicas) o menos, que no es práctico establecer y mantener una

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

planta de dosificación y mezclado en el lugar de la construcción. En este caso es preferible emplear concreto premezclado o materiales dosificados en seco en la planta, con mezclado en camión en el lugar del trabajo.

Si no hay concreto disponible dosificado en la planta, aun así pueden tomarse las precauciones adecuadas para medir y mezclar apropiadamente los materiales del concreto. El cemento en sacos debe ser protegido de la humedad, y los sacos incompletos no deben emplearse sin antes pesarlos. El dispositivo para medir el agua debe ser exacto y seguro, y no debe excederse de la capacidad de la mezcladora.

3.8 Otras consideraciones

Además de la medición exacta de los materiales, también deben emplearse procedimientos correctos de operación si se quiere mantener la uniformidad del concreto. Se debe tener cuidado de asegurar que los materiales que se han pesado estén puestos en la secuencia apropiada, y combinados de manera que se carguen como medidas uniformes dentro de la mezcla.^{7,17}

Algunas de las deficiencias comunes que han de evitarse son:

1. Traslape de mezclas al cargar y descargar los camiones o carros de mezclas múltiples.
2. Pérdida de materiales al transferir mezclas a mezcladoras portátiles.
3. Pérdida o colgamiento de una parte de una mezcla, o su inclusión con otra cuando las mezclas se trasladan por bandas o tolvas.

CAPITULO 4

MEZCLADO

4.1 Requisitos generales

Es esencial un mezclado completo para la producción de un concreto uniforme. Por lo tanto, el equipo y los métodos empleados deben ser capaces de mezclar eficazmente los materiales de concreto que contengan el mayor tamaño de agregado especificado, para producir mezclas uniformes con el menor revenimiento que sea práctico para el trabajo. Las recomendaciones sobre el tamaño máximo del agregado y del revenimiento que se han de emplear para diversos tipos de construcción se dan en la norma ACI 211.1-70.¹⁸ Debe proveerse suficiente mezclado, así como los medios para transportarlo y colocarlo, para que exista continuidad y quede libre de juntas frías.

4.2 Diseño y mantenimiento de las mezcladoras

Los tipos más comunes de mezcladoras son las de tambor, de eje vertical, y la de aspas en espiral. Una mezcladora de tambor, de diseño satisfactorio, tiene 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, y un movimiento envolvente que voltea y esparce la mezcla sobre sí misma al mezclarse. En la mezcladora de eje vertical, las aspas giran sobre ejes verticales que operan en un recipiente fijo o giratorio que da vueltas en sentido opuesto. Con esta mezcladora, la mezcla puede observarse fácilmente, y, si se necesita, se puede hacer un ajuste rápido. La mezcladora de paleta en espiral consta de un eje horizontal movido por fuerza motriz con paletas en espiral que operan dentro de un tambor horizontal. Para una descripción adicional de los diversos tipos de mezcladoras, el lector debe consultar: "Concrete Plant Mixer Standards of the Mixer Manufacturers Division of the Concrete Plant Manufacturers Bureau".²²

Las mezcladoras fijas deben estar equipadas con dispositivos para regular el tiempo a fin de evitar insuficiencia o exceso en el mezclado. La cantidad de mezcla no debe exceder de la capacidad nominal que el fabricante señale en el rótulo de la mezcladora. A las mezcladoras debe dárseles un mante-

nimiento apropiado para impedir la salida del mortero o de materiales secos, y la superficie interior de las mezcladoras deben guardarse limpias y reemplazarse las paletas gastadas. Las mezcladoras que no cumplen las normas de rendimiento señaladas en la sección 4.4, deben ponerse fuera de servicio, hasta que sean reparadas para corregir su funcionamiento deficiente.

4.3 Carga de la mezcladora

La importancia de cargar tanto las mezcladoras fijas como las de camión, para obtener un efecto de premezclado, cuando la corriente fluye dentro de la mezcladora, se citó anteriormente en el capítulo 3.^{7,17,21} Es preferible que el cemento se cargue junto con otros materiales, pero debe entrar en la descarga después de que aproximadamente el 10% del agregado haya entrado en la mezcladora. Cuando sea necesario cargar cemento en mezcladoras de camión por separado, puede ser necesario un tiempo adicional para el mezclado a fin de obtener la deseada uniformidad en la mezcla.

El agua debe entrar primero en la mezcladora, y continuar fluyendo mientras los demás ingredientes se van cargando. Las tuberías para cargar el agua deben ser de diseño apropiado y de tamaño suficiente, de manera que el agua entre bien en la mezcladora y termine de introducirse dentro de un 25% inicial del tiempo de mezclado.²⁴

Los aditivos deben cargarse en la mezcladora en el mismo punto de la secuencia del mezclado, mezcla tras mezcla. Los aditivos líquidos deben cargarse con el agua, y los aditivos en forma de polvo deben ser vertidos dentro de la mezcladora con otros ingredientes secos. Cuando se emplea más de un aditivo, cada uno debe dosificarse por separado y no deben premezclarse antes de entrar en la mezcladora.

4.4 Rendimiento de la mezcladora

Los medios para determinar el rendimiento de las mezcladoras se basan en resultados de pruebas entre dos o más muestras tomadas de diversos puntos de la mezcla, o entre muestras distintas tomadas en un mismo punto, y en un promedio de todas las muestras, las cuales deben arrojar una uniformidad con diferencias tolerables.^{2,8,23}

Entre las muchas pruebas usadas para verificar el funcionamiento de una mezcladora, las siguientes son las más comunes:^{2,8,23} contenido de aire, revenimiento, peso unitario del mortero libre de aire, resistencia a la compresión, contenido de agua en el mortero, el contenido de cemento en el mortero seco, y el contenido de agregado grueso.

Otro aspecto importante del funcionamiento de una mezcladora es la uniformidad entre mezclas del concreto, que, aunque en gran parte es el resultado de la uniformidad de los materiales y su medición, también lo es por la eficiencia de la mezcladora. Una observación visual del concreto

durante el mezclado y la descarga de la mezcladora constituye una importante ayuda para mantener una mezcla uniforme, sobre todo de consistencia constante. Algunos medidores de consistencia, como los que trabajan en el amperaje del mecanismo de transmisión eléctrico de las mezcladoras giratorias de tambor, también en ocasiones han sido útiles. Sin embargo, el método de control para mantener la uniformidad entre mezclas consiste en un programa de pruebas regularmente planeado.

4.5 Tiempo de mezclado para mezcladoras fijas

El tiempo del mezclado debe basarse en la capacidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme en cada mezcla y mantener la misma calidad en las mezclas siguientes. Las recomendaciones del fabricante y las especificaciones usuales, tal como 1 minuto por yarda cúbica más $\frac{1}{4}$ de minuto por cada yarda cúbica adicional de capacidad, pueden utilizarse como guías satisfactorias para establecer el tiempo inicial de mezclado. Sin embargo, los tiempos de mezclado que se determine emplear deben basarse en los resultados de las pruebas de efectividad de la mezcladora que se practiquen a intervalos regulares mientras que dura la obra.^{2,7,8,23} El tiempo de mezclado debe medirse a partir del momento en que todos los ingredientes estén dentro de la mezcladora. Es deseable que las plantas automáticas, y también las plantas manuales, se provean con indicadores audibles, empleados en combinación con intercierres que impidan la descarga de la mezcladora antes de terminarse el tiempo de mezclado prefijado. La mezcladora debe estar diseñada para ponerse en marcha y detenerse con carga completa.

4.6 Temperatura de la mezcla

La uniformidad entre mezclas de concreto de una mezcladora, particularmente en cuanto al revenimiento, requisitos de agua, y contenido de aire, también depende de la uniformidad de la temperatura del concreto. Es, por lo tanto, importante que las temperaturas máxima y mínima del concreto sean controladas durante todas las estaciones del año. Las recomendaciones sobre el control de temperatura del concreto están discutidas en detalle en las normas del ACI sobre la colocación del concreto en clima cálido y en clima frío.^{26,29}

4.7 Remezclado

Con tal de no excederse en la relación agua-cemento de la dosificación, pueden agregarse a la mezcla pequeñas cantidades de agua de remezclado para lograr el revenimiento deseado.^{8,10,25} Sin embargo, debe prohibirse la producción de concreto de revenimiento excesivo o agregar agua (que exceda a la relación agua-cemento de diseño), para compensar la pérdida de revenimiento como resultado de demoras en la entrega o en la colocación.

4.8 Descarga de la mezcladora

Las mezcladoras deben ser capaces de descargar concreto de revenimiento más bajo, como el que llegare a requerir la construcción en que se trabaja, sin segregación (separación del agregado grueso del mortero). Debe también evitarse la segregación en las operaciones de manejo y descarga en las tolvas de retención y los transportadores de transbordo por los procedimientos mostrados en las figs. 4.8a, 4.8b y 4.8c.

4.9 Concreto premezclado

El concreto premezclado puede mezclarse en una planta central y transportarse a la obra en camiones agitadores o no-agitadores, mezclarse enteramente en tránsito, o después de llegar al sitio de trabajo, o mezclarse parcialmente en una planta central y terminarse en tránsito o en la obra ("mezclado de contracción"). Las instalaciones de concreto premezclado bien equipadas y controladas constituyen una excelente fuente de concreto de calidad. Un problema que requiere una atención especial en estas operaciones es la adición no controlada de cantidades incorrectas de agua de mezclado con la resultante reducción en la calidad del concreto. La responsabilidad de la calidad del concreto premezclado puesto en sitio se comparte entre el proveedor del concreto y el contratista colocador, quienes, mediante una estrecha cooperación, deben utilizar controles de trabajo apropiados, para evitar demoras debidas a procedimientos inadecuados de despacho, manejo, colocación o consolidación. La seguridad de que se emplean métodos apropiados de control para obtener la calidad requerida del concreto ya colocado, depende finalmente del inspector designado por el propietario.

Además de los ingredientes de la mezcla, el agua que se requiere para la apropiada consistencia (revenimiento) del concreto, se afecta por factores tales como magnitud y velocidad del mezclado, la distancia del transporte, el tiempo de descarga, y las condiciones de temperatura ambiente. En clima fresco, y para distancias cortas y entregas rápidas, rara vez existen problemas tales como pérdida o variación en el revenimiento, requerimientos excesivos de agua de mezclado, y problemas de descarga, manejo y colocación. Sin embargo, es al revés cuando la velocidad de entrega es lenta o irregular, las distancias de transporte son largas y el clima es caluroso. Las adiciones de agua para compensar la pérdida de revenimiento no deben exceder lo que se necesite para compensar una pulgada (2.5 cm) de pérdida en el revenimiento, ni debe excederse la relación máxima agua-cemento del diseño. La pérdida de trabajabilidad en clima cálido bien puede minimizarse haciendo más expedita la entrega y la colocación, controlando la temperatura de la mezcla y, cuando sea apropiado, utilizando retardantes. Cuando es factible, toda el agua de mezclado debe dosificarse en la planta central. Sin embargo, en clima caluroso es frecuentemente deseable retener arte del agua de mezclado hasta que la mezcladora llegue a la obra. Con

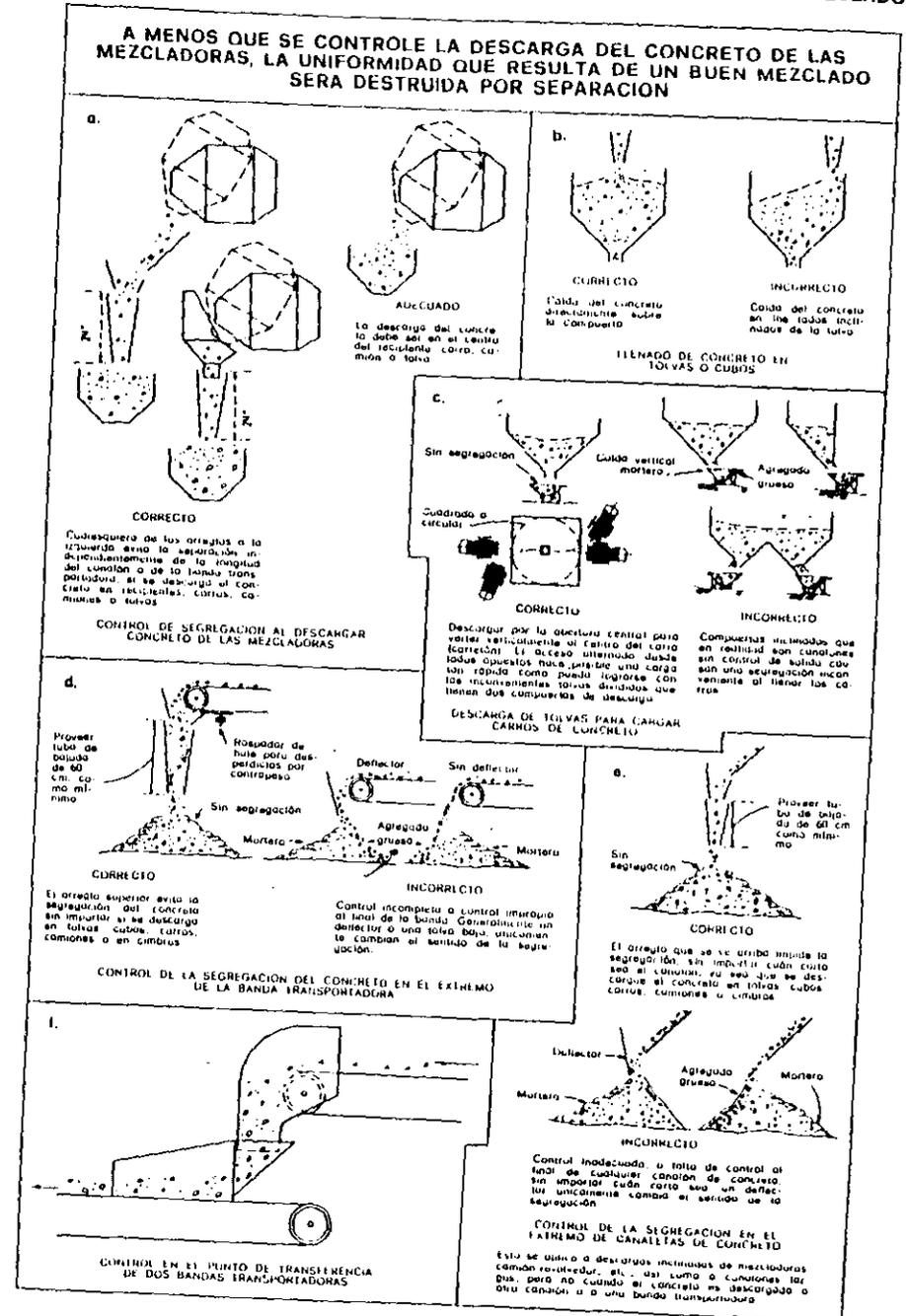


Fig. 4.8. Métodos correctos e incorrectos de manejo de concreto.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

la adición del agua que falta se requieren otras 30 revoluciones a velocidad de mezclado para incorporar adecuadamente a la mezcla el agua adicional. Cuando las pérdidas de revenimiento o trabajabilidad no pueden ser compensadas con estas medidas, todo el mezclado debe llevarse a cabo en la obra, empleando materiales secos dosificados en planta.

Las recomendaciones para los tiempos y volúmenes de mezclado para mezcladoras de camión se dan en el Capítulo 5, Secciones 5.2, 5.2.1, 5.2.2, 5.3 y 5.3.1.

CAPITULO 5

TRANSPORTE DEL CONCRETO

5.1 Consideraciones generales

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos, tales como camión-revolvedor, camión de caja fija, con o sin agitadores; cucharones transportados por camión o carro de ferrocarril; por conductos o mangueras, o por bandas transportadoras. Cada tipo de transportación posee ventajas y desventajas específicas que dependen de las condiciones del uso, los ingredientes de la mezcla, la accesibilidad y ubicación del sitio de colocación, la capacidad y tiempo de entrega requeridos, y las condiciones ambientales. Algunos de los sistemas de transporte descritos en este capítulo se tratarán con más detalles en capítulos subsecuentes.

5.2 Mezclado y transporte en camiones de tambor giratorio

Algunas especificaciones limitan las revoluciones totales del tambor que pueden emplearse para la carga, mezclado, agitación y descarga del concreto en camiones de tambor giratorio. Otras fijan límites en el número de revoluciones para velocidad de mezclado. También a menudo se especifica para el mezclado un tiempo máximo de una y media horas a partir del momento en que el cemento haya entrado en el tambor y hasta que termine la descarga. También se prevé una reducción del tiempo máximo de espera en climas calientes.⁸ Otro método de especificación es no poner límites a las revoluciones o al tiempo de espera, mientras no se exceda el agua de mezclado especificada, no se agregue agua de remezclado o mientras el concreto conserve propiedades físicas plásticas satisfactorias, consistencia y homogeneidad para su colocación y consolidación. Esta manera de proceder es favorecida específicamente en relación con el tiempo máximo permisible para descargar, y es particularmente aplicable cuando el concreto tiene una temperatura fresca o cuando no hace calor. La determinación final de si se está o no logrando satisfactoriamente el mezclado, debe basarse en las pruebas normales de uniformidad de la mezcladora.^{2,8,23}

Hay gran variedad de contadores disponibles y deben ser recomendados y utilizados en todas las unidades de camión de tambor giratorio.

5.2.1 Concreto mezclado en camión

El mezclado en camión es un proceso en el cual los materiales para concreto previamente dosificados en una planta dosificadora se transfieren a un camión revolvente donde se lleva a cabo la operación de mezclado. Muchos productores dosifican todos los ingredientes en el camión revolvente funcionando a velocidad de carga, detienen el tambor cuando el camión está cerca de la obra, o bien cuando ha llegado a ella, y entonces llevan a cabo el mezclado. Otro procedimiento consiste en completar todo el mezclado en el camión revolvente, en el patio del productor, haciendo el viaje a la obra con el tambor sin girar.

Cuando el tambor se está cargando, debe girarse a la velocidad designada por el fabricante. Después de cargar completamente todos los materiales, el tambor debe girarse a la velocidad de mezclado, empleando entre 70 y 100 revoluciones para completar el mezclado bajo condiciones normales.²¹ Si transcurre tiempo adicional después del mezclado y antes de descargar, la velocidad del tambor se reduce a la velocidad de agitación, o se detiene. Antes de la descarga, el tambor debe girarse de nuevo a velocidad de mezclado por unas 10 a 15 revoluciones, para remezclar los posibles puntos de estancamiento, cerca ya a la descarga. El volumen absoluto total de todos los ingredientes dosificados para mezclado completo en un camión de tambor giratorio, no debe exceder el 63% de la capacidad del tambor.⁸

5.2.2 Concreto mezclado parcialmente en planta fija y terminado en tránsito

El concreto transportado por este método se mezcla por poco tiempo, generalmente de 15 a 30 segundos en una mezcladora fija en la planta, y el mezclado se completa en el tambor del camión. Los requisitos para este tipo de concreto son los mismos que para el concreto mezclado en camión, excepto que el tiempo de mezclado dentro del tambor del camión será reducido a lo determinado como satisfactorio por las pruebas de uniformidad.⁸

5.2.3 Concreto dosificado en seco

Mediante este método, los materiales secos se transportan al sitio de la obra en el tambor del camión, y el agua de mezclado se lleva por separado, en un tanque montado en el mismo camión. El agua se agrega a presión, de preferencia a la entrada y en la parte posterior del tambor que está girando a velocidad de mezclado, y el mezclado se completa con las usuales 70 a 100 revoluciones que se requieren para las mezcladoras de camión. Este método que evoluciona como una solución para viajes largos y demoras en la coloca-

ción, permite con seguridad un mayor tiempo de espera para el transporte y la descarga. Sin embargo, la humedad libre en los agregados, que debe considerarse como parte del agua de mezclado, provoca algo de hidratación en el cemento. Por lo tanto, los materiales no pueden mantenerse indefinidamente de esta manera. El volumen total de concreto que puede transportarse por este método es el mismo (63%)⁸ que en el caso del mezclado en camión normal.

5.3 Transporte de concreto mezclado en planta

5.3.1 Tambor giratorio

Por este método, el camión-revolvente ya descrito sirve como unidad agitador de transporte. El tambor se gira a velocidad de carga durante la carga y luego se reduce a velocidad de agitación o se detiene después de completar la carga. El tiempo transcurrido para la descarga del concreto puede ser el mismo que en el caso del mezclado en camión, y el volumen transportado puede aumentarse hasta el 80% de la capacidad del tambor.⁸

5.3.2 Camión de caja fija, con o sin agitador

Las unidades empleadas 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, está diseñada para descargar el concreto por la parte de atrás, cuando la caja es volteada. Una puerta de descarga y vibradores montados en la caja deben proveerse en el punto de descarga para controlar el flujo. Un agitador ayuda en la descarga, y mezcla el concreto al descargarse. Sin embargo, jamás debe agregarse agua en la caja del camión, porque no se logra nada de mezclado con el agitador.

El uso de cubiertas protectoras para las cajas de camión durante 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 tiempo de entrega usualmente especificado es de 30 a 45 minutos, aunque las condiciones de temperatura puedan, o requieran, menos tiempo, o permitan tiempos más largos.

5.3.3 Recipientes para concreto montados en camiones o carros de ferrocarril

Este es un método común de transporte de concreto masivo desde la planta de mezclado hasta un punto cerca del lugar de colocación. Una grúa entonces levanta el recipiente hasta el punto final de colocación. En ocasiones, se usan carros de traslado, que operan en rieles, para transportar el concreto desde la planta de mezclado hasta los recipientes que se operan en cable-

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

vías. La descarga del concreto de los carros de transporte al recipiente, que puede ser por el fondo, o por alguna forma de volteo, debe ser cuidadosamente controlada para impedir la segregación. El tiempo de entrega por transporte en esta forma es el mismo que para otras unidades sin agitador, generalmente de 30 a 45 minutos.

5.3.4 Otros métodos

El transporte de concreto mediante banda transportadora y por métodos de bombeo se discutirá en los capítulos 6 y 9, respectivamente.

Se han utilizado recipientes de hule pesado de dos compartimientos para transportar volúmenes de concreto sin mezclar a sitios apartados de construcción en terreno quebrado. Un compartimiento interior contiene el cemento, y otro compartimiento exterior circundante contiene el agregado y el agua. Se proveen anillos para el izado y la descarga. El predosificado y transporte de esta manera proporcionan un medio de control de calidad en las obras apartadas, que de otra manera no suele lograrse.

5.4 Objetivo final

El método de transporte que se utilice debe entregar eficazmente el concreto en el punto de colocación, sin alterar de manera significativa las propiedades deseadas en cuanto a la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. Cada método de transporte tiene sus ventajas bajo condiciones particulares de uso, que atañen a renglones tales como diseño y mezcla de materiales, tipo y accesibilidad de la colocación, capacidad de entrega requerida, ubicación de la planta de dosificación y otros. Estas diversas condiciones deben revisarse cuidadosamente al seleccionar el tipo de transporte más apropiado para lograr concreto económico y de calidad en la obra.

COLOCACION DEL CONCRETO

6.1 Consideraciones generales

El capítulo 5 describe el equipo y los procedimientos para transportar concreto para la dosificación y mezclado, o sólo para dosificar, al sitio de colocación. Este capítulo presentará las prácticas recomendadas para trasladar el concreto del vehículo de transporte a su posición final en la estructura en construcción. La colocación de concreto se efectúa con recipientes, tolvas, carritos propulsados de mano o con motor, conductos o tubos de caída, bandas transportadoras, aire comprimido, bombeo, tubo-embudo, y equipo para pavimentar. Las figuras 4.8 y 6.1 muestran varios de los métodos de manejo y colocación discutidos en este capítulo, dando ejemplos de procedimientos de construcción eficientes y deficientes.

La colocación del concreto por el método de agregado precolocado, tubo-embudo, y bombeo, se discuten en los capítulos 7, 8 y 9, respectivamente, y otro método neumático bien establecido para la colocación de concreto se describe en "Recommended Practice for Shotcreting" (ACI 506-66).²⁷

Un requisito básico del equipo y métodos de colocación, como de todos los demás equipos y métodos de manejo, es que debe conservar la calidad del concreto en lo referente a la relación agua/cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo debe basarse 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. No debe emplearse equipo en el que sea necesario ajustar las proporciones de la mezcla fuera de los límites recomendados por el ACI, particularmente los del ACI 211.1-70.¹⁰

Debe preverse suficiente capacidad de colocación, mezclado y transporte, de manera que el concreto pueda mantenerse plástico y libre de juntas frías mientras se coloca. Debe colocarse en capas horizontales que no excedan de 60 cm (2 pies) de espesor, evitando capas inclinadas y juntas de construcción. Para construcción monolítica, cada capa debe colocarse cuando la capa subyacente todavía responda a la vibración, y las capas deben ser lo suficientemente poco profundas como para permitir la unión entre sí, mediante una vibración apropiada.²⁸ El concreto debe depositarse en su posición final de

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

colocación o cerca de ella, eliminando la tendencia a segregarse cuando tiene que ser movido lateralmente a su lugar. En superficies inclinadas, el concreto debe colocarse primero en la porción más baja de la pendiente (figuras 6.1e, 6.1i y 6.1k), continuando hacia arriba, y así aumentar la natural consolidación del concreto. Debe evitarse la descarga a alta velocidad, que origina la segregación del concreto.

Las superficies acabadas del concreto colocado deben protegerse con pasillos planeados y coberturas, hasta que estén lo suficientemente fuertes como para resistir daños del tipo de tránsito al que serán expuestas.

El acero de refuerzo debe estar limpio, en posición correcta, y bien sostenido y asegurado antes de empezar la colocación del concreto.

Si se desea colocar concreto de manera monolítica en una viga peraltada, muro, o columna con una losa o voladizo encima, debe programarse una demora que permita el asentamiento del concreto inferior antes de colocar el concreto de la losa o voladizo. El tiempo de demora dependerá de la temperatura y las características del fraguado del concreto que se emplea, pero la colocación debe empezarse lo suficientemente pronto como para permitir la liga de la capa nueva con la anterior.

El método escalonado de colocación debe emplearse en estructuras masivas donde se abarcan grandes áreas, para impedir la formación de juntas frías. En este método, la colocación de concreto va haciéndose por una serie de capas horizontales escalonadas de aproximadamente 45-60 cm (1½ a 2 pies) de espesor. La colocación del concreto en cada capa (nivel) se extiende por la anchura total del bloque, y las operaciones de colocación progresan desde un extremo de la elevación hacia el otro, exponiendo solamente pequeñas áreas de concreto a la vez. Al progresar la colocación, parte de la misma estará ya terminada ("rematada"), mientras que la colocación continuará en lo que queda.

Para una discusión más completa de la colocación de concreto masivo, véanse las referencias 2, 5, 6 y 69.

6.2 Separación del agregado y mortero

El equipo y el método utilizados para colocar el concreto deben evitar la separación de agregado grueso del concreto. Aunque no son objetables los pedazos dispersos de agregado grueso, las aglomeraciones y bolsas de agregado grueso sí son objetables y deben distribuirse antes de colocar concreto sobre ellos para impedir bolsas de roca y cavidades en el trabajo terminado. Es un error común creer que la segregación del agregado se eliminará con las operaciones de colocación y consolidación subsiguientes (figuras 6.1j, 6.1h, 6.1l y 6.1m).

El equipo debe disponerse de manera que el concreto no tenga restricción en la caída vertical al centro del lugar de la colocación o del recipiente que lo reciba. El chorro del concreto no debe separarse permitiendo que caiga libremente sobre varillas, espaciadores, refuerzos u otros materiales empo-

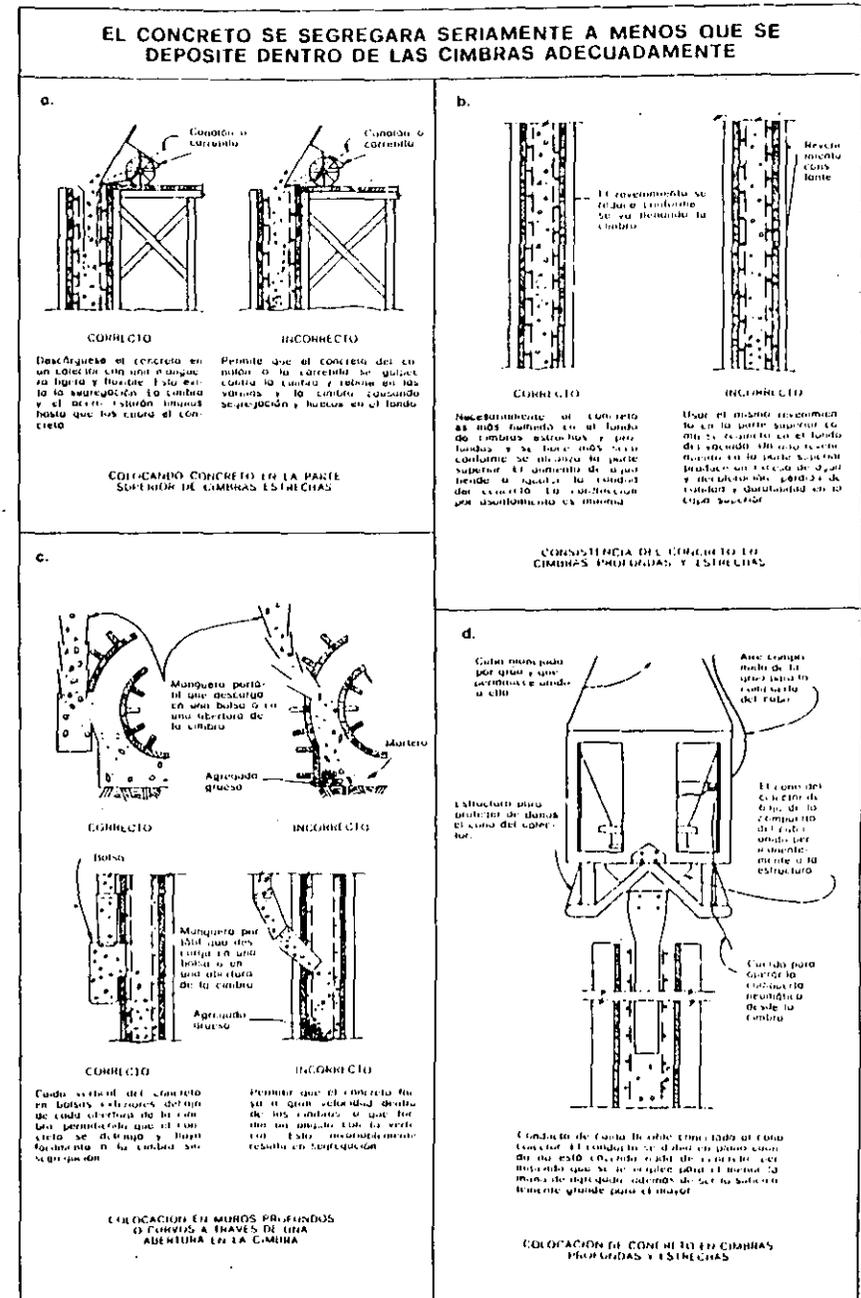


Fig. 6.1 (a-d) Métodos correctos e incorrectos de colocar concreto.

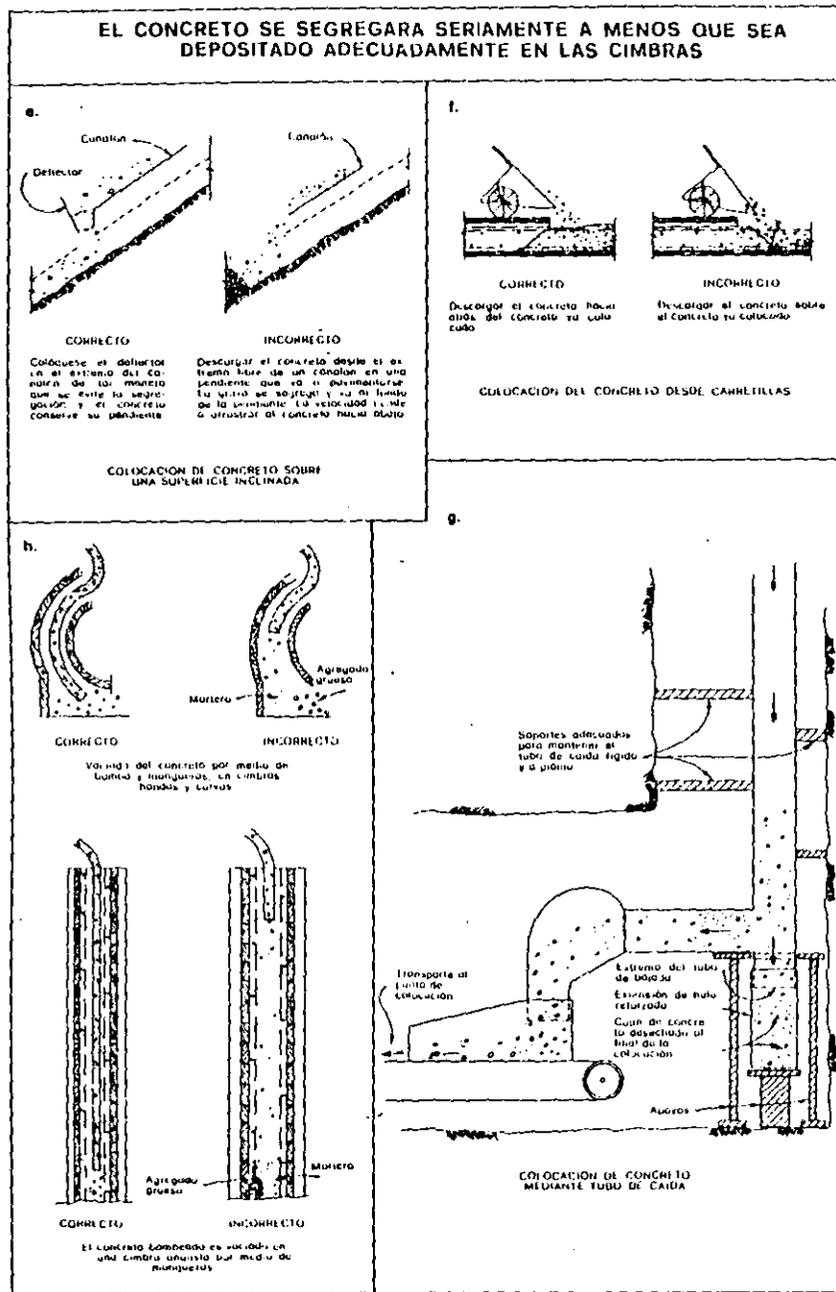


Fig. 6.1 (e-h) Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.

trados. Si las cimbras son suficientemente abiertas y limpias de manera que no estorben la caída vertical del concreto en el lugar de colocación, es generalmente deseable la descarga directa sin el empleo de tolvas, conductos o vertederos.² No es necesario quitar los residuos de mortero que hagan caída sobre objetos que irán empotrados en una colocación de concreto que se completará en pocas horas, pero debe quitarse la mezcla suelta antes de colocarse en los objetos que están preparados para ir empotrados en colocaciones posteriores.

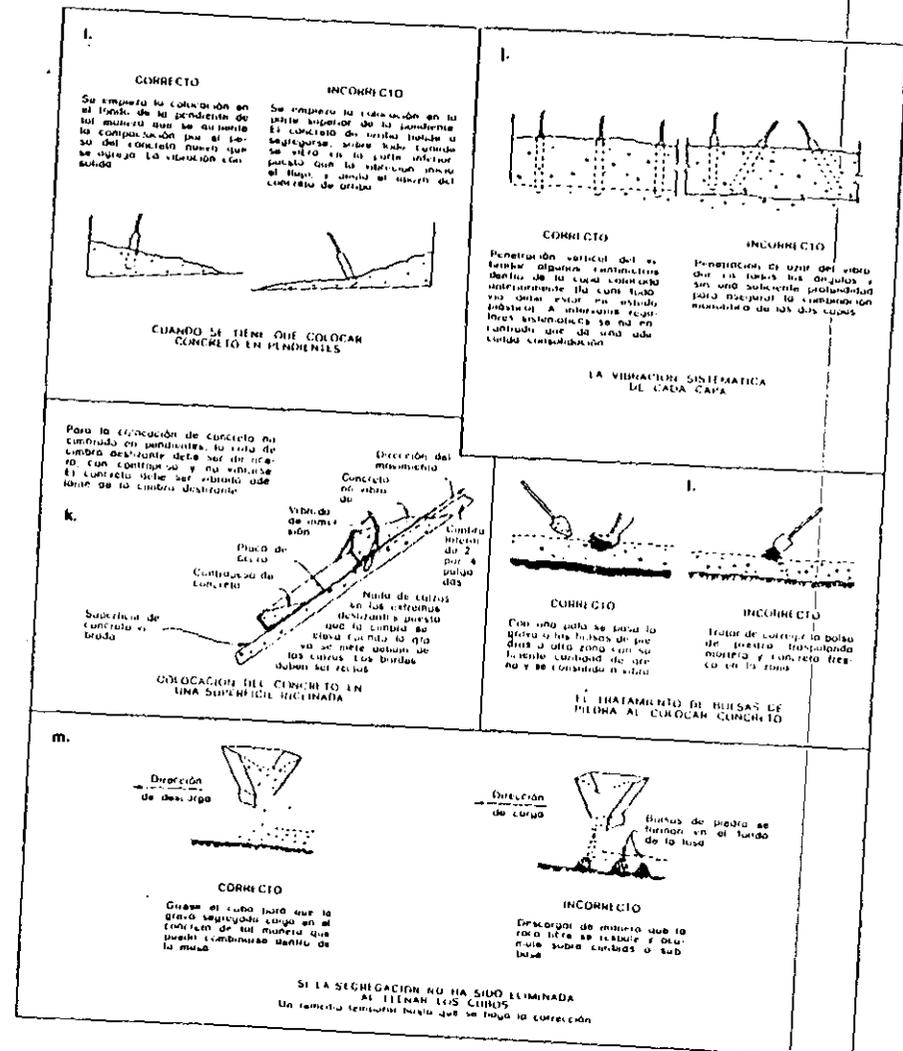


Fig. 6.1. (i-m) Métodos correctos e incorrectos de consolidación.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

Las figuras 4.8 y 6.1a-6.1h muestran cómo pueden evitarse muchas de las causas comunes de la segregación en la colocación del concreto.

6.3 Equipo de colocación

6.3.1 Tolvas de sección circular y rectangulares

El empleo de tolvas de sección circular con descarga por la parte inferior, diseñadas apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el más bajo revenimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Las puertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a no menos de una tercera parte del área máxima horizontal interior o cinco veces el tamaño máximo del agregado que se está empleando. Las paredes laterales deben ser inclinadas, por lo menos 60 grados respecto a la horizontal. Los controles en las puertas deben permitir que el personal que trabaja en la colocación las abra o las cierre durante cualquier etapa del ciclo de descarga.⁶

Deben utilizarse, en cuanto a las tolvas de sección rectangular, criterios similares de diseño, con paredes laterales inclinadas y suficiente amplitud de abertura, de acuerdo con el tamaño máximo del agregado y el revenimiento de concreto.

Deben seguirse los principios de llenado y descarga, empleando las caídas verticales libres de obstrucciones, mostradas en las figuras 4.8a-4.8c y 4.8e cuando se usan cubos y tolvas. El amontonamiento de concreto por la descarga de las tolvas demasiado arriba o cercana de la superficie, o mientras están en movimiento, da lugar a causas comunes de segregación. Debe evitarse la contaminación descansando las tolvas sobre plataformas, sin balancearlas sobre el concreto descubierto que acaba de terminarse. El concreto derramado no debe recogerse con palas y devolverse a las tolvas para su uso subsiguiente.

6.3.2 Carros manuales o motorizados "buggies"

Es importante el empleo de vías lisas y rígidas para impedir la separación de los materiales del concreto durante el tránsito. Las distancias máximas de entrega recomendadas para carritos mecanizados es aproximadamente de 120 m (1 000 pies) y para carritos impulsados manualmente y carretillas, aproximadamente de 60 m (200 pies).

6.3.3 Canales y tubos de caída

Los canales se emplean con frecuencia para trasladar concreto de elevaciones superiores a inferiores. Deben ser de fondo curvo y 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

COLOCACION DEL CONCRETO

revenimiento requerido en el sitio, fluya continuamente por el canalón sin segregarse. Debe controlarse el flujo del concreto en el extremo del canalón para evitar la segregación (véase figura 6.1e); los canales demasiado largos y descubiertos deben cubrirse para evitar la evaporación y la pérdida de revenimiento.

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. Deben ser firmes, a plomo, y colocados de tal manera que el concreto caiga verticalmente. Un método satisfactorio para disipar la energía acumulada de caída libre es hacer que el concreto caiga sobre un colchón amortiguador de concreto al extremo del tubo (figura 6.1g). Esto se logra fijando un saco de tipo reforzado al final del tubo y efectuando la descarga lateral del concreto por medio de aberturas justamente arriba del saco. Esto proporciona un colchón de concreto al final de la caída, y el concreto fluye hacia la colocación por las aberturas de descarga laterales del tubo. La colocación se inicia cubriendo el tubo con una lechada de mortero antes de depositar el primer concreto. La mezcla de concreto suele tener un contenido de arena mayor que el normal, manteniendo el revenimiento entre 7.5 hasta 15 cm (3 a 6 pulgadas). El concreto se ha vertido así con buenos resultados hasta 1 500 m (5 000 pies).⁷ Es necesario que haya comunicación telefónica entre la cima del tubo y el sitio de colocación.

6.3.4 Bandas transportadoras

El empleo de transportadoras de banda se ha establecido bien en la construcción de concreto. Las transportadoras pueden clasificarse en tres tipos: 1) transportadoras portátiles o autosuficientes; 2) transportadoras alimentadoras o en serie; y 3) transportadoras de descarga lateral o esparcidoras. El tipo de alimentador o transportador en serie funciona a velocidades de banda altas, generalmente a más de 150 m/min (500 pies por minuto) y los tipos portátiles y de descarga lateral operan a velocidades menores. Todos los tipos dependen de la combinación apropiada del ancho de la banda transportadora y de la velocidad para lograr la velocidad de colocación deseada.

Con el concreto debe alimentarse la transportadora por medio de una tolva para obtener un listón uniforme de material a lo largo de la banda (figura 4.8f). Las transportadoras deben estar apoyadas adecuadamente para lograr un transporte suave, sin vibración, a lo largo de la banda, y el ángulo empleado de inclinación o de declive debe controlarse para eliminar la tendencia del agregado grueso a separarse del mortero de la mezcla. La inclinación máxima que se puede emplear con una banda transportadora es variable, y es una función tanto de la mezcla del concreto como del dueño de la banda. Unas bandas con corrugados pequeños rectos o costillajes en la superficie que lleva la carga, pueden transportar concreto a través de

inclinaciones empinadas, con mayor éxito que las bandas lisas. Debe prestarse atención especial a los puntos en los cuales se carga el concreto sobre la banda y a los puntos de traslado o descarga, pues éstos son los lugares en donde la segregación tiende a efectuarse (figuras 4.8d y 4.8f). Deben utilizarse en estos puntos tolvas, canalones, y conductos troncales apropiadamente diseñados, o combinaciones de éstos para conservar la homogeneidad del concreto. Además, debe equiparse el punto de descarga en cada banda transportadora con una regla limpiadora o raspadora, para limitar la pérdida de mortero.

La colocación de corto alcance, generalmente se maneja mejor con transportadoras portátiles con un voladizo, con el punto de descarga más allá que las ruedas del armazón de sustentación, pudiendo subirse o bajarse aquéllas por unidades independientes.

La colocación de largo alcance se maneja generalmente por unidades fijas, formadas de un número de bandas transportadoras en serie. Las bandas alimentadoras en estas colocaciones de alcance más largo funcionan a velocidades altas de banda, generalmente a más de 150 m/min (500 pies por minuto), de modo que se logra una alta capacidad con bandas estrechas, reduciendo así a un mínimo el tiempo durante el cual el concreto está expuesto a condiciones ambientales adversas.

Cuando se emplean transportadoras para depositar concreto en colocaciones profundas, tolvas apropiadamente diseñadas con trompas de elefante deben usarse para introducir el concreto a poca distancia de la superficie en donde se vacía. También, como en cualquier otro método de colocación, el punto de descarga desde la banda transportadora debe moverse con frecuencia, para que el concreto no tenga que moverse lateralmente de posición por vibración u otro método. Esto se logra mediante el uso de unidades radiales, variables y unidades de descarga lateral.

El movimiento de la transportadora, mientras el concreto está pasando por la banda, debe planearse con anticipación, reduciéndosele al mínimo.

Para evitar la segregación, el concreto fresco debe depositarse sobre concreto plástico colocado previamente, hasta donde esto sea posible. Deben emplearse protecciones o cubiertas para las transportadoras, cuando las condiciones climatológicas (lluvia, viento y sol), y temperaturas ambientes sean severas, de manera que no ocurran cambios significativos en el revenimiento o temperatura del concreto. Generalmente se logra la máxima eficiencia con la banda transportadora, con una mezcla de concreto plástica y homogénea, controlada a un revenimiento de 6.5 a 7.5 cm (2½ a 3 pulgadas).

6.3.5 Equipos de pavimentación

El empleo de mezcladoras grandes, esparcidoras de alta capacidad y pavimentadoras de cimbra deslizante,^{29,30} hace posible pavimentar con grandes volúmenes de concreto a 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, pero debido a la velocidad de la colocación, las desviaciones halladas que no cumplan los requisitos para una calidad aceptable tienen que corregirse rápidamente. 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, distribución inapropiada de la mezcla y del agregado en los diferentes niveles de colocación.

6.3.6 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. Se requiere más uniformidad que la ordinaria de mezcla a mezcla. Un revenimiento de acuerdo con la consolidación efectiva y el acabado son necesarios en el concreto empleando este método de colocación. Aunque se necesita una mayor inversión inicial en el equipo para la colocación por medio de cimbra deslizante, esto se compensa con la economía general, el aumento de producción, y la alta calidad del trabajo especial para el cual conviene este tipo de colocación. En la pavimentación de carreteras se ha atribuido una mejoría notoria a este método de cimbras deslizantes.³¹

6.4 Consolidación

La vibración interna (figuras 6.1i, 6.1j y 6.1k), cuando se aplica apropiadamente, es el método más eficaz para consolidar concreto plástico, permitiendo con buen éxito la colocación de concreto que contiene menos agua y componentes finos (arena y cemento), que lo que se requiere cuando el concreto no se vibra.²⁸ Además de lograr mejor calidad y economía, como resultado de estos cambios en las proporciones de la mezcla, también se logra mejor aspecto y acabado. Las ventajas y el uso general de vibración en la colocación de concreto han sido bien establecidos, pero se aconseja al lector obtener información detallada sobre la consolidación de concreto, en el informe del Comité del ACI 309.²⁸

La vibración interna generalmente conviene más para la construcción ordinaria. Los vibradores no deben emplearse para mover concreto en sentido lateral, y deben insertarse y quitarse verticalmente a intervalos próximos. Debe usarse un patrón sistemático de vibración para asegurar que todo el concreto haya sido adecuadamente consolidado (figs. 6.1i y 6.1j). Cuando pueda consolidarse el concreto a mano o con poca o ninguna vibración, es evidente que debe reproporcionarse la mezcla, usando un contenido unitario de agua menor con una consecuente reducción de finos (cemento o agregado fino o ambos).

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

La vibración inadvertida o intencional del concreto o del acero introducido resulta ser beneficiosa si el concreto vuelve a ser plástico momentáneamente durante la revibración. Mientras que un vibrador funcionando continúe introduciéndose en el concreto por su propio peso, no es demasiado tarde para que el concreto se beneficie por revibración, con aumento de resistencia a compresión y adherencia. Probablemente a causa del efecto de amortiguamiento no se ha experimentado ningún efecto perjudicial del refuerzo introducido o del concreto en niveles parcialmente endurecidos cuando están revibrados desde arriba por esfuerzos de consolidación en concreto fresco.

Cuando la vibración se lleva a cabo adecuadamente, no se logra ninguna ventaja espadeando o trabajando el concreto de modo suplementario. En las colocaciones especialmente difíciles y obstruidas puede emplearse una vibración suplementaria de las cimbras, teniendo cuidado de evitar una vibración excesiva de las unidades, de modo que se forme una capa superficial de pasta débil por falta de agregado grueso.

En superficies verticales en las cuales son indeseables los vacíos de aire, la experiencia ha demostrado que los vacíos pueden reducirse mediante el uso de vibración adicional. Si esta vibración adicional parece sobrevibrar al concreto, debe utilizarse menos agua en la mezcla. Ni la vibración extra ni el espadeado, ni otra clase de manipulación mecánica del concreto, pueden quitar eficientemente los hoyos formados por vacíos de aire de las superficies moldeadas bajo cimbras inclinadas. Tanto la utilización de procesos al vacío como de forros de cimbras absorbentes han tenido algún éxito en concreto colocado bajo cimbras inclinadas, excepto cuando se han utilizado mezclados con alto porcentaje de sangrado.

Operarios experimentados y componentes de vibradores que trabajen con vibradores en los que se controle el mantenimiento, y con suficientes unidades de reserva, son esenciales para un programa satisfactorio de consolidación.

6.5 Previsiones para manejar concreto de consistencia apropiada

Frecuentemente se hacen peticiones para aumentar el agua de la mezcla en el trabajo, cuando el concreto de consistencia relativamente seca no fluye por los canalones, no cae de las tolvas, o no se descarga de las compuertas o conductos, aunque se admite frecuentemente que el concreto es fácilmente manejado y satisfactoriamente consolidado en su lugar con una vibración apropiada. Obviamente, estas solicitudes para adicionar agua no son válidas, y la limitación en el uso razonable de las proporciones de la mezcla y del revenimiento no deben imponerse por emplear equipo de colocación inadecuado.

CAPITULO 7

CONCRETO DE AGREGADO PRECOLOCADO

7.1 Consideraciones generales

En este método de construcción primero se llenan las cimbras con agregado grueso bien granulado y limpio, luego se inyecta lechada de calidad estructural en los vacíos de la masa del agregado para producir concreto. Es especialmente adecuado para construcciones bajo el agua, para reparaciones en concreto y mampostería, y, en general, para estructuras nuevas en las cuales la colocación por medios convencionales presenta dificultades en donde se requiere concreto de poco cambio de volumen.^{2,31-33} Puesto que la construcción de concreto de agregado precolocado es de naturaleza especializada, se aconseja que el trabajo se realice con personal calificado que tenga experiencia en este método de construcción. Las propiedades físicas del concreto de agregado precolocado son semejantes a las del concreto convencional. Por lo tanto, pueden emplearse las mismas resistencias de trabajo permisibles empleadas para el diseño de concreto estructural convencional.^{2,34-36}

Para información detallada sobre concreto de agregado precolocado, el lector puede acudir a un informe especial sobre este tema del Comité 304.³⁷

7.2 Descripción de lechadas

Las lechadas básicas compuestas de cemento portland, arena y agua³² pueden modificarse eficazmente para usarse en concreto estructural de agregado precolocado mediante la inclusión de aditivos, tales como puzolana, fluidificantes, agentes de expansión, inclusores de aire y materiales colorantes. La modificación también se logra mecánicamente, utilizando mezcladoras de alta velocidad especialmente diseñadas.

Para el concreto estructural de agregado precolocado, en el cual se requieren resistencia y otras propiedades físicas, las proporciones de la lechada deben seleccionarse a base de especímenes de prueba hechos con la graduación del agregado grueso que se piensa usar.

Varias especificaciones del Cuerpo de Ingenieros, enumeradas en el Capí-

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

tulo 11, indican los requisitos para varios factores referentes a una lechada adecuada.

7.3 Materiales

7.3.1 Cemento

La lechada puede hacerse con cualesquiera de los tipos de cemento sin aire incluido que cumplan con la norma ASTM C150 o C595, y que son adecuados para usarse en concreto convencional y producir las condiciones requeridas por el concreto de agregado precolocado.³¹ Los cementos que contienen un agente inclusor de aire cuando están combinados con fluidificantes formadores de gas, podrán producir cantidades excesivas de aire incluido (o de gas) en el mortero, dando como resultado una reducción brusca de la resistencia. Cuando se requiere la inclusión de aire, se logra un control más satisfactorio agregando por separado el agente inclusor de aire.

7.3.2 Agregado grueso

Agregados gruesos, sean piedra triturada, gravas naturales limpias libres de polvo superficial, o finos, sanos y durables, y que cumplan con los límites de la norma ASTM C33, son elementos adecuados si se manejan y se colocan con las debidas precauciones.

Por economía, el contenido de huecos del agregado debe mantenerse lo más bajo posible, entre un 38 y 48 por ciento.

El agregado grueso debe ser bien graduado usándose el mayor tamaño que pueda transportarse y colocarse económicamente en las cimbras, sin segregación excesiva, tomando en consideración la disponibilidad de los agregados por tamaño, tipo de construcción de que se trate, y las limitaciones usuales establecidas por el ancho de la sección y espaciamiento del refuerzo.^{32,33}

Los tamaños mínimos recomendados para el agregado grueso, esencialmente determinados por la granulometría de la arena, se muestran en la tabla 7.3.2, granulometría 1 y 2.

7.3.3 Agregado fino

Se puede utilizar arena de molino o natural. La arena debe ser de partícula dura, densa y durable, de roca no recubierta y de contenido de humedad uniforme y estable. Debe estar de acuerdo a la norma ASTM C33 actual, excepto en cuanto a su granulometría.

7.3.4 Puzolanas

Pueden emplearse tanto puzolanas naturales como fabricadas, que cum-

TABLA 7.3.2.—LÍMITES DE GRANULOMETRIA PARA ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO DE AGREGADO PRECOLOCADO*

Porcentaje que pasa			
Tamaño de malla	Granulometría 1 Para 13 mm (½ pulg) Tamaño mínimo de agregado grueso	Granulometría 2* Para 40 mm (1½ pulg) Tamaño mínimo de agregado grueso	
Agregado grueso Tamaño máximo dependiendo de las dimensiones de la cimbra.			
40 mm (1½ pulg)	95-100	0-5	
25 mm (1 pulg)	40-80	—	
20 mm (¾ pulg)	20-45	—	
13 mm (½ pulg)	0-10	—	
10 mm (¾ pulg)	0-2	—	
Arena			
(3/16 pulg) 5 mm	—	100	
No. 8 (2.4 mm)	100	95-100	
No. 16 (1.19 mm)	95-100	80-90	
No. 30 (595 micrones)	55-80	55-70	
No. 50 (297 micrones)	30-55	25-50	
No. 100 (149 micrones)	10-30	5-30	
No. 200 (74 micrones)	0-10	0-10	
(Módulo de Finura)	1.30-2.10	1.60-2.35	

* Agregado mínimo de 40 mm (1½ pulg) debe usarse con una lechada de arena y cemento con granulometría de arena dentro de estos límites.

plan con la Especificación del Cuerpo de Ingenieros CRD C255 o la norma ASTM C618. Sin embargo, puesto que algunas puzolanas han causado una abrasión excesiva del equipo de bombeo y aumentado el contenido de agua, deben hacerse pruebas preliminares para seleccionar la puzolana.

7.3.5 Aditivos para la lechada

Los aditivos utilizados comúnmente constituyen un material premezclado comercialmente conocido como fluidificante. Por lo general consta de un agente reductor de agua, un agente suspensor, polvo de aluminio, y un amortiguador químico para asegurar una regulación oportuna de la reacción del polvo de aluminio con los álcalis del cemento. Estos fluidificantes deben cumplir con la Especificación del Cuerpo de Ingenieros CRD C566.

Como substitutas de un fluidificante premezclado, las diversas sustancias contenidas en los fluidificantes pueden agregarse por separado a la mezcla. El polvo de aluminio, por ejemplo, provee una expansión esencial de adherencia entre lechada y agregado. Un agente reductor de agua que cumpla con la norma ASTM C494, Tipo A o D, mejorará la fluidez de la lechada sin aumentar los requerimientos de agua. Un aditivo inclusor de aire convencional que cumpla con la norma ASTM C260 debe también agregarse a la lechada para obtener porcentajes apropiados de aire incluido, cuando el concreto esté expuesto a congelación y deshielo.^{37,41} Debe hacerse un número suficiente de pruebas antes y durante la construcción para asegurar que

no se incluya una cantidad excesiva de aire, particularmente en aquellas lechadas que contienen polvo de aluminio. Una pequeña cantidad de cloruro de calcio, no mayor de 2% del peso del cemento, también puede utilizarse para acelerar la resistencia. El empleo eficiente de los aditivos debe determinarse con cuidado antes de emplearlos en el trabajo.

7.4 Dosificación de la lechada

Las proporciones de cemento y arena por lo común son de 1:1 a 1:2 por peso, aunque han sido empleadas proporciones tan pobres como 1:3. Generalmente las mezclas más pobres se preparan en una mezcladora de alta velocidad de tipo coloidal (consistente en una bomba centrífuga de tolerancia reducida y una bomba de impulsor abierto en serie). Estas mezclas utilizan una granulometría de arena semejante a la que se utiliza en concreto colocado convencionalmente y agregado grueso de un tamaño mínimo de 40 mm (1½ pulgadas). No se pone ningún límite al tamaño máximo del agregado grueso.

Las tablas 7.3.2 y 7.4., muestran recomendaciones y granulometrías típicas de arena para las mezclas de lechada que suelen emplearse, determinadas por la graduación del agregado grueso que se emplea (o los vacíos que han de llenarse).

La resistencia a compresión y la facilidad de bombeo limitan la cantidad de arena que puede emplearse en cualquier lechada.³¹ Para trabajo estructural normal, la proporción de materiales cementantes (el cemento más la puzolana) para arena debe ser de aproximadamente 1:1; pero puede llegar a ser de 1:2. Usualmente las proporciones de cemento a puzolana son de 2:1,

TABLA 7.4. GRANULOMETRIA TIPICA DE AGREGADO PARA CONCRETO DE AGREGADO PRECOLOCADO PREPARADO CON LECHADA DE ARENA FINA QUE CONTIENE PUZOLANA Y FLUIDIFICANTES

Granulometría de arena Porcentaje acumulativo que pasa por cada malla						
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 Micrones)	No. 50 (297 Micrones)	No. 100 (149 Micrones)	Charola	Módulo de finura
100	97	67	31	10	0	1.95
100	98	72	34	11	0	1.85
100	96	56	36	20	0	1.92

Granulometría de agregado grueso Porcentajes acumulativos que pesan por cada malla								
150 mm (6 pulg)	115 mm (4½ pulg)	75 mm (3 pulg)	45 mm (1¾ pulg)	40 mm (1½ pulg)	22 mm (178 pulg)	20 mm (¾ pulg)	16 mm (¾ pulg)	13 mm (½ pulg)
		100	100	97	45	9	2	1
		78		62		4	2	1
	100	67		40		10	2	1
100	100			40		6	2	1

aunque han sido utilizadas en varios trabajos proporciones tan reducidas como 1:1 y tan altas como 9:1. En ocasiones, la puzolana puede omitirse por completo, puesto que la gravedad específica de puzolanas de diferentes fuentes varía usualmente dentro de los límites de 2.0 a 2.5. Los volúmenes absolutos también varían a través de las proporciones en peso y se mantienen constantes. La relación agua/cemento más puzolana por peso normalmente es de 0.45 a 0.50. Las proporciones para la mezcla pueden determinarse por la especificación CDR C85 del Cuerpo de Ingenieros.

Los materiales para la mezcla de la lechada deben dosificarse y medirse por peso y las recomendaciones se dan dentro de este contexto. Las excepciones son el agua y los aditivos que se dosifican en base a peso, pero que pueden medirse con exactitud a base de volumen. Todo el equipo para pesar y medir debe calibrarse con exactitud y operarse con las tolerancias permisibles para el peso de los materiales del concreto convencional.

Ciertos aparatos para medir el flujo se usan al determinar la consistencia de la lechada en trabajos de concreto de agregado precolocado. Este método de prueba para el flujo de mezclas de lechadas de arena fina, empleando el cono de flujo, se describe en la Especificación CRD C79 del Cuerpo de Ingenieros. Un medidor de flujo se emplea para medir la fluidez de la lechada que contiene la arena convencionalmente graduada más gruesa, que se emplea en las mezcladoras coloidales.³⁷ Las variaciones de fluidez de la lechada para cada uno de estos métodos de prueba se dan en la Sección 7.11.

7.5 Cimbra

Los revestimientos de las cimbras y los materiales empleados en las cimbras en concreto de agregado precolocado, son semejantes a aquéllos usados para el concreto vaciado convencionalmente.³⁸

Sin embargo, es importante que la hechura de la cimbra sea de mejor calidad que la que normalmente se emplea para el concreto convencional, a fin de impedir la salida de la lechada, y resistir las mayores presiones laterales.³⁸ Los pernos deben estar bien ajustados a través del entablado. Todos los cortes deben hacerse para que ensamblen perfectamente. Después de que las cimbras estén erguidas, apuntaladas, ensambladas apropiadamente y niveladas, todos los pequeños orificios deben ser tapados.

Moldes prefabricados de concreto con aire incluido, con anclas de acero previamente atadas o soldadas al refuerzo de la losa, se han empleado con buen éxito para revestimiento en la rehabilitación de presas de concreto.³⁹

7.6 Sistemas para tubería de lechada

7.6.1 Tuberías de entrega

El sistema más seguro para la entrega de la lechada consiste en un solo tubo, que se extiende directamente desde la bomba impulsora hasta un tubo

de inserción dentro de la masa del agregado. Sin embargo, para proveer un flujo continuo de lechada, muchas veces se utiliza una pieza de unión en forma de Y, inmediata a los tubos de inserción. La Y debe estar provista con válvulas en la entrada y en las dos salidas, inyectándose la lechada sólo por un brazo de la Y a la vez. No debe emplearse un sistema múltiple por el cual más de una inserción de lechada se opere a la vez, puesto que la distribución de la lechada dentro de la masa del agregado podría variar de manera apreciable de un tubo de inserción a otro.

Es buena medida mantener a un mínimo práctico la longitud de la línea principal de entrega entre la bomba y los puntos de inserción; la línea debe tener suficiente diámetro para permitir que la velocidad planeada fluctúe entre 0.6 hasta 1.2 m/seg (2 y 4 pies por segundo) o aproximadamente el equivalente de 0.03 m³/min (un pie cúbico por minuto), a través de un tubo de 25 mm (1 pulgada). Esta velocidad es aconsejable para utilizarse en tubos de descarga hasta de 90 mts (300 pies) de longitud; pero para longitudes mayores que éstas, hasta 305 m (1 000 pies), el diámetro del tubo tendrá que aumentarse en tamaño para evitar una presión excesiva. Es esencial que todas las uniones de los tubos sean herméticas, para impedir el bloqueo de las juntas, y que estén provistos los tubos con desuniones rápidas para limpiar rápidamente un tubo cuando se obstruya.

7.6.2 Tubos de inserción de lechada

Los tubos de inserción utilizados para introducir la lechada en la masa del agregado, son normalmente de 19 a 25 mm ($\frac{3}{4}$ a 1 pulgada) de diámetro, para concreto estructural normal, y hasta de 40 mm (1½ pulg.) para concreto masivo. Los tubos de inserción para la lechada pueden extenderse verticalmente hasta 150 mm (6 pulgadas), desde el fondo de la masa del agregado; horizontalmente pueden extenderse a través de la cimbra a diferentes niveles. Ocasionalmente se fijan en ángulo para permitir la inyección de la lechada alrededor de los objetos ahogados o dentro de áreas restringidas.

Los tubos de inserción verticales o inclinados se proveen en longitudes convenientes para retirarse durante la inyección. Donde se requieran acoplamientos para profundidades mayores de agregado precolocado, deberán emplearse tubos de inserción de acoplamiento parejo. El tipo 120 de 25.4 mm (una pulgada) es preferible. Los tubos de inserción verticales deben sacarse durante el vaciado, de tal manera que el extremo inferior quede en todo momento a un mínimo de 1 pie (0.3 m), debajo de la superficie de la lechada.

Todas las válvulas en el sistema de tubería deben ser del tipo de tapón (cierre), de apertura rápida, fáciles de desmontar y limpiar. Las válvulas de más de 25 mm (1 pulgada) de diámetro deben ser lubricadas.

La distancia entre las inserciones debe fluctuar de 1.2 m (4 pies), a 3.7 m (12 pies), con el espaciamiento de 1.5 a 1.8 m (5 ó 6 pies), comúnmente usados. Como guía para el trazo de tubos de inserción, puede suponerse que la

superficie de la lechada asumirá una inclinación de 1:4 en seco y 1:6 bajo agua. A veces es de gran ayuda utilizar una clave de colores o números, y registrar la ubicación de cada tubo de inserción, de modo que no exista ninguna duda sobre cuál área está siendo abastecida por la boca de salida.

7.6.3 Pozos de sondeo

La localización de la superficie de la lechada dentro de la masa del agregado debe conocerse en todo momento. En donde la lechada se inyecta horizontalmente por el lado de la cimbra puede determinarse fácilmente, en cualquier momento, la localización de la lechada por la filtración del agua a través de las cimbras, pero cuando la lechada se inyecta por tubos verticales de inserción, deben proveerse pozos de sondeo. La proporción de pozos de sondeo-inserciones generalmente va desde 1:4 hasta 1:10 o más. Estos pozos de sondeo consisten generalmente en tubos de pared delgada de 50 mm (2 pulgadas) de diámetro, provistos de ranuras de 1 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada), fresadas, (no quemadas) a intervalos frecuentes. La línea de sondeo está equipada con un flotador pesado de 25 mm (1 pulgada) de diámetro, de tal manera que se hunda en el agua y sin embargo flote sobre la superficie de la lechada dentro del tubo ranurado. Los tubos de sondeo pueden dejarse en el lugar y llegar a ser una parte permanente de la estructura.

Cuando se hace la colocación en seco en un trabajo complejo, y donde se requiere de muchos puntos de localización exacta de la superficie de la lechada, se ha usado con buen éxito un sistema de alambres detectores, calibrados electrónicamente, ubicados dentro de la masa del agregado grueso y controlados por un registro apropiado.

7.6.4 Tubos respiraderos

Los tubos respiraderos deben emplearse en cimbras que tengan espacios reducidos o irregulares y donde el agua o el aire puedan ser atrapados por la subida del nivel de la lechada, como en un bloqueo, en trabajos ahogados o para la instalación de un protector biológico.

7.7 Colocación de agregado grueso

7.7.1 Cimientos

Todo el material fino suelto debe quitarse de la cimentación en colocación bajo del agua, hasta donde sea posible, antes de colocar el agregado para prevenir el recubrimiento subsecuente del agregado o el relleno de vacíos. Alternativamente, si las condiciones estructurales lo permiten, debe depositarse primero una capa de agregado fino y grueso para servir como una cama de filtro a fin de prevenir la contaminación del agregado grueso precolocado.

7.7.2 Colocación del agregado

El agregado grueso debe ser lavado y cribado inmediatamente antes de recolocarse en las cimbras. Si se utiliza más de un tamaño de agregado grueso, el agregado debe dosificarse y mezclarse en las proporciones adecuadas y descargarse a velocidades proporcionales sobre cribas o plataforma vibradora o de lavado giratorio. Las cribas giratorias son eficaces como mezcladoras y lavadoras.

Para trabajos de concreto estructural, el agregado se traslada comúnmente a las cimbras, en recipientes especiales para concreto. Si el acceso es limitado, debe utilizarse una trompa de hule flexible para reducir la altura de caída libre, impidiendo así la segregación o rompimiento del agregado. Un tubo de compuerta, con diámetro de aproximadamente cuatro veces el tamaño máximo del agregado, es eficaz en donde el agregado tiene que bajarse hasta 305 m (1 000 pies), a través de un espacio de únicamente 0.6 ó 0.9 m (2 ó 3 pies) de ancho.³³ El tubo debe llenarse gradualmente y bajarse hacia el punto de colocación, y finalmente, después de que ha sido totalmente extendido, el agregado puede descargarse entonces por la compuerta inferior, mientras que se llena por el extremo superior. El tubo permanece lleno de agregado todo el tiempo, eliminando así la caída libre y reduciendo el rompimiento. En trabajos de concreto masivos, como en pilas de puente, donde el agregado grueso se coloca a través de agua, se puede descargar directamente dentro de las cimbras desde las chalanas de vaciado o barcos de auto-descarga, por el fondo.³¹

Cuando en las cimbras los objetos colocados dejan entre sí espacios reducidos, y se desea un concreto de alta densidad y excepcional homogeneidad, la profundidad del vaciado debe limitarse a 100 mm (4 pulgadas), y en casos excepcionales el agregado puede colocarse a mano. Es generalmente poco práctico mover el agregado una vez que está en su lugar; por lo tanto, debe distribuirse uniformemente durante la colocación. Sin embargo, cuando el agregado grueso tiene que moverse en el lugar, puede utilizarse un chorro de aire de alta presión.³³ El tránsito de vehículos no debe permitirse sobre el agregado grueso precolocado.

El agregado grueso debe estar completamente lavado, pero jamás debe limpiarse con un chorro de agua cuando está en las cimbras.³¹ De vez en cuando es deseable mojar el agregado grueso para lubricar la lechada o para enfriarla.²⁵ En este caso, el agua debe inyectarse por los tubos de inserción precolocados, en lugar de derramarse sobre los agregados gruesos.³¹

7.7.3 Contaminación

En la construcción bajo el agua, donde se sabe o se sospecha que existe contaminación, el agua debe muestrearse y analizarse para determinar el grado de contaminación y su posible influencia sobre la calidad del concreto. Donde se presente una contaminación moderada, el agregado debe recibir

la lechada dentro de uno o dos días después de la colocación para evitar la formación de depósitos contaminantes en la superficie de las partículas del agregado, y aun en agua relativamente limpia, la lechada debe colocarse entre una semana o 10 días.

Si hay contaminantes en tal cantidad o de tal carácter que los efectos nocivos no puedan eliminarse o controlarse, no debe emplearse el concreto de agregado precolocado.

7.8 Mezclado y bombeo de lechada

7.8.1 Mezcladoras

Las mezcladoras de tipo de paleta de husillo vertical se emplean comúnmente para mezclar lechadas, aunque también se emplean las de tipo horizontal. Los husos se equipan generalmente con paletas de tipo abierto, que operan a una velocidad periférica de 244 a 305 m/min (800 a 1 000 pies por minuto). Las mezcladoras de eje horizontal, semejantes a las mezcladoras de yeso de gran tamaño, también pueden emplearse, aunque su mezclado sea poco menos eficaz que con el tipo vertical.

Las mezcladoras de concreto convencionales, de olla o de turbina, se adaptan bien para mezclar lechada, aunque la junta en la puerta de descarga puede presentar problemas de mantenimiento.

Las mezcladoras de concreto convencionales de tambor giratorio no se recomiendan para la lechada, a menos que el mezclado sea prolongado, porque el mezclado es menos eficaz que en otros tipos de alta velocidad.

Para la aplicación limitada en donde la lechada se compone únicamente de arena, agua y cemento, la mezcladora denominada coloidal proporciona una muy alta velocidad de mezclado de cemento y agua en una bomba centrífuga de tolerancia cerrada, seguida del mezclado de la arena y la lechada de cemento en una bomba de impulsor abierto.

La potencia necesaria para las mezcladoras fluctúa entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ caballo de fuerza por 0.03 m³ (pie cúbico) de capacidad, dependiendo del tipo de fuerza motriz que se suministre.

Debe proveerse un tanque agitador para la lechada, a fin de dar óptima efectividad al equipo de mezclado, y también para obtener capacidad de almacenamiento. Una criba con aberturas no menores de 4.8 mm ($\frac{3}{16}$ de pulgada) y no mayores de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ de pulgada), debe localizarse adelante de la bomba para quitar el material de tamaño excesivo que pudiera causar dificultades en el bombeo, o bloqueo en la línea.

7.8.2 Bombas

La bomba debe ser del tipo de desplazamiento positivo, tal como la de pistón, o la de cavidad progresiva. La bomba debe equiparse con una línea de derivación que conecte la descarga y la entrada, o que provea circulación

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

dentro del agitador. Puesto que las bombas requerirán normalmente de 15 a 30 minutos de mantenimiento por turno, es prudente tener un equipo de reserva, de manera que se pueda suministrar una descarga continua. En la línea de descarga de la bomba debe estar instalado un manómetro para indicar al operador si hay un incipiente bloqueo de la línea o un tubo de inserción tapado.

7.8.3 Inyección de lechada

Hay esencialmente dos técnicas básicas para la inyección de lechada: la técnica de capa horizontal y la de avance en declive. En ambos sistemas la lechada debe empezar desde el punto más bajo dentro de las cimbras. En la técnica de superficie horizontal, la lechada se inyecta a través de cada tubo de inserción, para subir la lechada al punto, desde 150 a 300 mm (6 a 12 pulgadas). La manguera de la lechada se desconecta entonces y se saca la inserción en una longitud apropiada, de tal forma que el extremo inferior de la inserción quede introducida un mínimo de 300 mm (1 pie) debajo de la superficie de la lechada.

Cuando el procedimiento de superficie horizontal no sea práctico, como en la construcción de losas, donde una de las dimensiones del plano es relativamente grande comparada con la otra, para inyectar la lechada se emplea el método de avance en declive. En este método se inicia la inyección en el extremo de la dimensión más estrecha de la cimbra y se continúa el bombeo por hileras de inserciones, tomando la lechada una inclinación general que fluctúe entre 1:4 y 1:8. En el proceso de avance en declive, el patrón de bombeo se inicia primero en la hilera de agujeros más cercana al pie del declive, y se continúa hilera por hilera hacia arriba por el declive (en dirección opuesta al declive de la pendiente), hasta la última hilera de tubos en la cual no se ha terminado el trabajo de lechada. Este proceso se repite, siguiéndose adelante en secuencia cuidadosa hasta que se completa la inyección.

Cuando se utiliza un retardador o fluidificante, puede permitirse que los tubos de inserción queden entre inyecciones hasta por un período de varias horas, dependiendo esto de las proporciones de la mezcla y de la temperatura ambiente. Cuando transcurren varias horas entre inyecciones sucesivas, puede ser conveniente meter una varilla para limpiar los tubos antes de cada inyección de lechada. Los tubos de inserción no deben limpiarse con inyecciones de agua, cuando el extremo inferior del tubo esté debajo de la superficie de la lechada.

Es importante que la velocidad del bombeo de la lechada dentro de la cimbra sea tal que no se formen presiones excesivas, y la inyección y el nivel de la lechada estén controlados de manera que se evite que caiga ella en forma de cascada. Esto es particularmente importante en trabajos bajo el agua, en donde la caída en forma de cascada ocasionaría la segregación de la arena y la formación de huecos. La velocidad de inyección debe fluctuar entre 0.03 y 0.11 m³/min (1 a 4 pies cúbicos por minuto), dependiendo de la

CONCRETO DE AGREGADO . . . COLOCADO

fluidéz de la lechada, la configuración de la cimbra, el contenido de vacíos y el tamaño del agregado.

Cuando se coloque la lechada alrededor de objetos ahogados, especialmente bajo superficies grandes y planas o bajo áreas en forma de nicho, es esencial prever la salida del aire y del agua atrapados. Debe continuarse la inyección de la lechada hasta que ésta sea de buena calidad estructural en los tubos que dan salida, indicando así que la inyección se ha completado.

La vibración interna no puede emplearse con este método de construcción con concreto, excepto para rematar la colocación. Es beneficiosa la vibración externa de las caras expuestas de las cimbras, aplicada al nivel de la superficie de la lechada. El dejar de usar la vibración externa causará frecuentemente un aspecto manchado en donde las partículas del agregado hayan estado en contacto con la cimbra. Sin embargo, la vibración excesiva de cimbras causará áreas superficiales arenosas.

7.9 Construcción de juntas

El concreto monolítico puede colocarse en inyecciones sucesivas de lechada mientras ésta permanezca fluida; comúnmente esto dura hasta 8 horas cuando se usa un fluidificante, o por algo más de tiempo a bajas temperaturas.

Cuando la inyección de la lechada bajo el agua no es continua, si ésta se endurece, se formará nata en las superficies de unión, entre las colocaciones sucesivas. Esta nata puede causar un debilitamiento en la adhesión entre los vaciados, a menos que la junta se limpie completamente con un chorro de arena u otros métodos aceptables, antes de vaciar la capa siguiente. Si se busca una buena adhesión entre las colocaciones sucesivas, es esencial la limpieza.

Cuando es estructuralmente permisible formar juntas frías horizontales durante la construcción, el nivel de la lechada debe detenerse a 300 mm (1 pie), debajo de la superficie superior del agregado grueso. La inyección de lechada subsecuente puede continuarse entonces mediante tubos de inserción introducidos a no más de 150 mm (6 pulgadas) de la superficie endurecida de la lechada.

7.10 Acabados

El declive de las superficies superiores puede mantenerse dentro de tolerancias relativamente pequeñas, empleando una especie de cimbra ventilada como se describe en detalle en la referencia 67.

Cuando se requiere un acabado por medio de "maestras" o de plana, la lechada debe subirse hasta que se inunde la superficie del agregado y quitarse barriendo la lechada diluida superficial. Entonces se espere en la superficie una capa delgada de grava muy menuda, rastreándola, y luego apisonándola o aplicándole vibración interna. Cuando la superficie está su-

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

ficientemente endurecida como para permitir trabajarla, entonces se aplica un acabado con maestra, o allanando de acuerdo con las prácticas convencionales empleadas con el concreto.

Se ha de tener cuidado al rematar, para que al inyectar la lechada no mueva o desaloje los agregados de la superficie.³⁴

7.11 Control de calidad

El bombeo de la lechada que contiene arena fina usual (Granulometría 1, Tabla 1), se controla mediante la prueba de consistencia, utilizando el cono de flujo estándar,⁹⁷ de acuerdo con la norma CRD C79 del Cuerpo de Ingenieros. Para mantener uniformidad, el tiempo de salida debe limitarse de 20 a 30 segundos. Debe emplearse un medidor de flujo⁹⁷ para lechadas que contengan arena de concreto convencionalmente graduada, o Graduación 2, Tabla 7.3.2. La fluidez de esta clase de lechada debe estar entre 254 y 558 mm (10 a 22 pulgadas), según se mida en la escala de este instrumento.

Los cilindros de prueba deben hacerse de acuerdo con la especificación CRD C84 del Cuerpo de Ingenieros y probarse de acuerdo con las normas apropiadas de la ASTM.

CAPITULO 8

CONCRETO VACIADO POR TUBO-EMBUDO (TREMIE)

8.1 Consideraciones generales

La colocación del concreto por el método de tubo-embudo es la más frecuentemente usada para vaciar el concreto bajo el agua. Por este método, el concreto se deposita bajo la superficie del concreto fresco colocado anteriormente. La colocación suele ser de alimentación por gravedad, desde arriba de la superficie del agua, por un tubo vertical conectado a una tolva de forma de embudo en la parte superior. El concreto fluye por el tubo-embudo hacia afuera desde el fondo del tubo, empujando la superficie existente del concreto hacia afuera y hacia arriba. Mientras el flujo sea suave, de manera que la superficie del concreto adyacente al agua no se agite físicamente, se obtendrá un concreto de alta calidad. La colocación también puede llevarse a cabo en otros líquidos más ligeros que el concreto, tales como un lodo bentónico, para satisfacer condiciones especiales. El concreto colocado por tubo-embudo se emplea sobre todo para ataguías o sellado de cajones, secciones estructurales tales como pilas de puentes, muros en diques secos, pisos, etc., y como sellados en secciones prefabricadas de túneles.

8.2 Equipo y requisitos para el mezclado

El diámetro del tubo-embudo es normalmente de ocho veces el tamaño máximo del agregado grueso. Los tubos de 25 hasta 30 cm (10 a 12 pulgadas) de diámetro, en tramos de 3 m (10 pies), son los más comunes. Una tolva de forma de embudo se atornilla en la parte superior del tubo, y un tapón de madera, pelota de hule, bola de arpillera u otro cierre, se emplea al empezar la colocación. El equipo de levantamiento tiene que estar continuamente disponible para subir y bajar el tubo mientras se coloca el concreto, así como las herramientas para atornillar y destornillar las secciones del tubo.

Las proporciones de la mezcla de concreto para la colocación por este método de tubo-embudo, difieren de las mezclas estructurales ordinarias, por la necesidad de que la mezcla fluya a su lugar lentamente, por gravedad sin vibración o ayuda mecánica. La mezcla debe proporcionarse para un revenimiento de 15 a 23 cm (6 a 9 pulgadas). Generalmente se prefiere emplear grava redonda natural en lugar de roca triturada, por las necesidades de fluidez. El tamaño máximo del agregado es generalmente de 40 mm (1½ pulgadas); sin embargo, un tamaño nominal de 20 mm o 9.52 mm (¾ ó ¾ de pulgada) puede emplearse para secciones complejas y bajo condiciones de flujo críticas. La proporción de agregado fino (arena) es generalmente del orden del 40 al 50% del peso total del agregado. Se ha comprobado que los aditivos retardantes y reductores de agua que cumplan con la norma ASTM C494, son una ayuda en la colocación del concreto, y el efecto retardante disminuye el desarrollo de calor y provee inclinaciones más planas con menos nata.¹⁰ Los aditivos inclusores de aire y las puzolanas también son benéficos a las características de flujo. Para mejorar la calidad estructural y de colocación debe mantenerse la temperatura del concreto tan baja como sea práctico, generalmente menos de 21.1°C (70°F). La máxima relación agua/cemento recomendable para concreto colocado por tubo-embudo (Tremie) bajo el agua es de 0.44 por peso.¹⁰

8.3 Procedimiento¹¹

Las secciones de tubo-embudo se atornillan empleando un empaque en cada junta para evitar fugas. Un tapón de madera con un empaque de hule u otro sello (cierres) adecuado, se sujeta con alambre ligero a un extremo del tubo, antes de bajarlo e introducirlo en el agua. El alambre se rompe cuando la primera mezcla de concreto es colocada.

El hecho de que el tubo vacío flote frecuentemente, constituye un problema cuando el concreto se coloca por medio de tubo-embudo a 21 m (70 pies) o más de profundidad. Cuando este problema se presenta, es conveniente empezar la operación de colocación del concreto con agua dentro del tubo. En este caso se coloca una pelota de hule, u otro sello adecuado, bien ajustado dentro del tubo de caída, cerca del borde, y es empujado hacia abajo dentro del tubo por el primer concreto que se coloca. Este sello sirve como pistón bajo el peso del concreto e impide que se segregue al desplazar y expulsar el agua por el fondo del tubo.

La colocación debe empezar lentamente para reducir al mínimo la socavación del fondo o el lavado del concreto anteriormente vaciado. Para evitar la socavación y asegurar una base estructural adecuada para el concreto, algunas veces es necesario colocar una capa de roca, graduada apropiadamente, antes de empezar el vaciado. Durante la colocación del concreto, debe evitarse cualquier movimiento innecesario del tubo para reducir la formación de bolsas de grava y nata, y también es aconsejable colocar el concreto uniformemente para evitar el asentamiento disparado de la base.

El fondo del tubo-embudo debe quedar siempre en el concreto fresco; después de que se haya empezado la colocación a mayor penetración del tubo en el concreto, más plano será el declive terminado. Las revolturas de concreto deben ser depositadas en el tubo-embudo a un ritmo uniforme para tener un flujo continuo.

Las demoras de más de 5 minutos entre las mezclas son indeseables. El equipo utilizado frecuentemente para transportar el concreto a la tolva del tubo-embudo se compone de grúa y recipientes, banda transportadora y bomba. El tubo debe levantarse lentamente durante la colocación, generalmente desde 15 hasta 60 cm (6 pulgadas a 2 pies) a la vez, manteniendo el fondo del tubo a un nivel que dé un flujo deseado a través de él. Se ha de tener especial cuidado en verificar que el fondo del tubo no se levante fuera del concreto plástico; si esto sucede, hay que sacarlo, ponerle nuevos sellos, y volver a empezar. Cuando el flujo debe detenerse por poco tiempo, el tubo debe introducirse más profundamente dentro del concreto plástico.

El espaciamiento de los tubos depende del espesor del vaciado y de la cantidad de pilotes o refuerzos.

La separación es aproximadamente de un tubo por cada 28 m² (300 pies cuadrados) de superficie, o de unos 4.5 m (15 pies) de centro a centro. Sin embargo, esto puede aumentarse hasta 12 m (40 pies) en una masa profunda no congestionada, en la que se emplee concreto con retardante.

Cuando la colocación se aproxima a su término, los tubos se trasladan a las esquinas y áreas bajas para llevar el colado a su nivel final. Tan pronto como se termina la colocación, debe usarse una bomba de agua accionada por aire para quitar la espuma o nata que se haya pegado en las áreas bajas en los lugares donde estuvo la tubería.

El ritmo normal de colocación varía usualmente desde ½ hasta 3 m (1½ hasta 10 pies) de altura por hora; si se sobrepasa, se pueden obtener superficies más planas, pero el aumento de la presión sobre las cimbras generalmente marca el límite, y un impacto excesivo se produce a la salida del tubo, sobre todo en el vaciado de muros estrechos. En estas condiciones se requiere un flujo de concreto uniforme a velocidad reducida, y un manejo uniforme y seguro de los tubos. El flujo y los declives se miden regularmente durante la colocación mediante el uso de una sonda.

8.4 Características estructurales

Las mezclas de concreto con resistencia a compresión y revenimiento alto, usadas en este método son, con frecuencia, de 281 a 563 kg/cm² (4 000 hasta 8 000 psi) a los 28 días. Las condiciones de curado son excelentes y la contracción es baja. Las superficies que estarán en contacto con el concreto deben estar libres de lodo, azolve marino, aguas negras, etc. La adherencia con superficies limpias de acero, roca y madera, es generalmente excelente. El calor de hidratación en mezclas ricas produce alta resistencia rápida, aunque la temperatura del agua sea tan baja como 4.4°C (40°F).

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

Cuando se colocan grandes masas de concreto por este método del tubo-embudo, los cambios volumétricos debidos al aumento de temperatura pueden merecer especial consideración. Puede ser necesario tomar precauciones para limitar los aumentos de temperatura, en cuyo caso debe instalarse una instrumentación adecuada que lo prevenga.

8.5 Inspección

La inspección del concreto durante su colocación por este método es difícil. El agua generalmente es turbia y las superficies del concreto fresco no pueden soportar el peso de un buzo. Así, es aconsejable inspeccionar el equipo con cuidado y revisar los preparativos antes de empezar la colocación. La evaluación correcta de las dosificaciones propuestas para el mezclado y la inspección de todas las etapas de la producción del concreto durante la colocación, son esenciales.

Debe inspeccionarse la resistencia y peso adecuado de la tubería para concreto de tubo-embudo (tremie), y los acoplamientos herméticos de todas las partes que van a quedar en contacto con el concreto. Debe verificarse también la limpieza. El estado de las juntas del tubo-embudo durante la colocación debe ser continuamente revisado, y tomarse medidas apropiadas en caso de fugas en las juntas.

Las obstrucciones, frecuentemente seguidas por pérdida del tubo-embudo, son causadas por cosas tales como arqueado (curvatura), demoras en la colocación (a veces tan solo de 10 minutos), segregación, mezclas no manejables, o por fugas en la tubería. No deben permitirse esfuerzos violentos para limpiar los taponos de la tubería con tirones o jalones, por la posibilidad de formación de fisuras, nata y bolsas de grava en la colocación. No deben permitirse vibraciones, agitaciones o movimientos contrarios del concreto colocado. Cuando el concreto se pone en cimbras, deben usarse ligaduras y anclas apropiadas para impedir la salida de la lechada. La colocación del concreto (tremie) por tubo-embudo, debe controlarse por personal calificado, mediante observación continua e interpretación de los sondeos. Después de que el concreto ha endurecido, un buzo debe inspeccionar la superficie antes de desaguarla, y más tarde deben inspeccionarse todos los agujeros de manejo, los puntos clave y uniones para llenarse por completo.

BOMBEO DE CONCRETO

9.1 Consideraciones generales

El concreto bombeado puede definirse como concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles, que se descarga directamente dentro del área deseada.

El bombeo puede emplearse en casi todas las construcciones de concreto, pero es especialmente útil donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados. Los montacargas y la grúas quedan libres para entregar otros materiales de construcción simultáneamente con la colocación del concreto, y otras operaciones pueden seguir adelante sin ser estorbadas por las del concreto.

Según el equipo, el volumen de bombeo fluctuará entre 8 y 70 m³ (10 a 90 yardas cúbicas) por hora.⁴² La distancia de bombeo variará de 91 a 305 m (300 a 1 000 pies) horizontalmente, y de 30 a 91 m (100 a 300 pies) verticalmente.^{43,44,45}

Para una discusión detallada sobre el bombeo de concreto, véase la referencia 68.

9.2 Equipo de bombeo

9.2.1 Bombas de pistón

Estas bombas se componen de una tolva equipada con paletas remezcladoras para recibir el concreto mezclado, una válvula de entrada, una válvula de salida, un pistón y un cilindro. La válvula de salida está ubicada en la línea de descarga. Cuando el pistón inicia su carrera de retroceso, la válvula de entrada se abre y la válvula de salida se cierra. Entonces el pistón empuja el concreto desde el cilindro al tubo o manguera, y en el extremo de la línea, en el área de colocación, descarga la cantidad de concreto correspondiente. Entre los modelos de bomba que hay en el mercado, hay disponible una gran variedad, tanto en el diseño de pistones, disposición de las válvulas, mecanismos de transmisión, como en la fuerza motriz que emplean.

9.2.2 Bombas neumáticas

Estas bombas constan básicamente de una cámara a presión y de equipo para suministrar aire comprimido. El concreto se coloca dentro de la cámara a presión, y se cierra herméticamente. Luego se aplica el aire comprimido por la parte superior de la cámara y éste empuja al concreto por un tubo conectado al fondo. Una caja de descarga para el remezclado se ubica en el extremo de la línea, para ir expulsando el aire e impedir la aspersión del concreto y la resultante segregación, desplazamiento del esfuerzo, o daño a las cimbras. Es conveniente usar un tanque receptor de aire para regular el suministro de aire comprimido.

9.2.3 Bombas de presión "squeeze"

El equipo principal utilizado en estos sistemas de bombeo se compone de una tolva receptora con paletas remezcladoras, manguera flexible, y rodillos que operan dentro de un tambor metálico mantenido al alto vacío. La manguera flexible está conectada en el fondo de la tolva receptora y entra por el fondo del tambor. La manguera corre por la periferia interior del tambor y sale por la parte superior. Los rodillos impulsados hidráulicamente giran sobre la manguera flexible dentro del tambor y expelen fuera el concreto por la parte superior. El vacío mantiene un abastecimiento constante de concreto dentro del tubo de la tolva receptora.

9.3 Tuberías y accesorios

La tabla 9.3 muestra los factores geométricos y de capacidad relativos a los tamaños comunes de tubos. La capacidad efectiva 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 está bombeando el concreto, superficie interior del tubo, codos, acoplamientos y mezcla del concreto.

9.3.1 Tuberías

Los tubos rígidos se hacen de acero, aluminio (véase el párrafo siguiente), o plástico, y se consiguen en tamaños de 8 a 20 cm (3 a 8 pulgadas) de diámetro.

Puesto que ha habido casos en los cuales el concreto, bombeado por un conducto de aleación de aluminio, mostró una expansión anormal causada por la formación de gas hidrógeno, se recomienda que no se emplee una línea con esta aleación para el suministro de concreto.^{66,70} La tubería flexible hecha de hule, metal flexible enrollado en espiral y plásticos, existe en el mercado en tamaños de 8 a 13 cm (3 a 5 pulgadas) de diámetro. Aunque el comportamiento de la tubería flexible no es el mismo que el de la tubería rígida, ya que en general desarrolla mayor resistencia al movimiento del

TABLA 9.3.—DATOS SOBRE CONDUCTOS PARA CONCRETO BOMBEADO

Diámetro del conducto* pulg (mm)	Área de la sección transversal pulg ² (cm ²)	Tamaño máximo nominal de: egregado pulgada (cm)		Volumen de concreto por cada 100 pies (30.5 m) de conducto		Longitud de conducto por cada yd ³ (m ³) de concreto	Peso** del concreto por cada sección de 10 pies (3.1 m) de conducto libras (kg)	Capacidad de entrega, varda cúbica por hora (m ³ /hr), para velocidades medias (no máximas) indicadas***			
		Mezcla rico	Mezcla pobre	pie ³	yd ³ (m ³)			1	2	3	4
3 (75.1) DE 1/4 espesor de pared	6.41 (41.3)	3/4 (1.9)	3/4 (1.9)	4.4 (0.1)	0.2 (0.1)	625 (191)	66.8 (30.5)	5.9 (4.5)	12 (9.0)	18 (14)	24 (18)
4 (102) DE 1/4 espesor de pared	11.7 (75.5)	1 (2.5)	3/4 (1.9)	8.2 (0.2)	0.3 (0.2)	333 (102)	123 (55.8)	11 (8.3)	22 (17)	32 (25)	42 (33)
4 (102) DI	12.6 (81.0)	1 (2.5)	1 (2.5)	8.7 (0.2)	0.3 (0.2)	313 (95.4)	131 (59.4)	12 (8.9)	23 (16)	35 (27)	47 (36)
5 (127) DI	19.6 (127)	1 1/2 (3.8)	1 (2.5)	14 (0.4)	0.5 (0.4)	200 (61.0)	204 (92.5)	15 (14)	36 (28)	54 (41)	72 (55)
6 (152) DI	28.3 (182)	2 (5.0)	1 1/2 (3.8)	20 (0.6)	0.7 (0.6)	137 (41.8)	294 (133)	26 (20)	53 (40)	79 (60)	100 (80)
7 (178) DE 5/32 pulg espesor de pared	35.1 (227)	2 (5.0)	1 1/2 (3.8)	24 (0.7)	0.9 (0.7)	111 (33.8)	366 (166)	32 (25)	66 (50)	97 (74)	—
8 (200) DI	50.2 (324)	2 1/2 (6.3)	2 (5.0)	35 (1.0)	1.3 (1.0)	76 (23.8)	524 (238)	46 (35)	93 (71)	—	—

* DE=diámetro exterior; DI=diámetro interior.

** A 150 libras/pie cúbico (2400 kg/m³)

*** Las capacidades fueron obtenidas por la fórmula hidráulica normal. Multiplíquese el área de la sección transversal por la velocidad de la línea en unidades apropiadas. Para obtener la capacidad asignada o nominal para un determinado sistema de bomba y conductos, consulte al fabricante.

concreto, es intercambiable con secciones de tubería rígida, y se usa con ventaja en lugares como curvas, áreas de colocación difícil, y en las conexiones a grúas móviles de transporte o conductos flotantes. Sin embargo, se recomienda que la tubería de hule no se emplee cerca de la bomba si precede a un conducto largo.

9.3.2 Acoplamientos

Los acoplamientos entre los tubos deben ser suficientemente resistentes como para soportar el manejo del sistema durante su erección, y los inconvenientes a causa de desviaciones y mala sustentación. Deben tener resistencia nominal por lo menos de 35 kg/cm² (500 psi) y mayor para alturas de más de 30 m (100 pies). Deben estar diseñadas para permitir el remplazo de cualquier sección de tubería sin tener que mover otras secciones y provistas de sección transversal integral libre de rugosidades o de grietas que interrumpan el flujo suave del concreto.

9.3.3 Accesorios

Los accesorios disponibles para tubería se enumeran como sigue (los acoplamientos y las longitudes estándar de tubo se discutieron antes): Secciones curvas (codos), uniones y espareidores giratorios; válvulas de clavija y compuerta para impedir el retroflujo; válvulas interruptoras para dirigir la corriente a otra línea; sistemas de conexión para llenar las cimbras de abajo hacia arriba; "tablillas", rodillos, y otros dispositivos para protección de la tubería sobre roca, concreto, acero de refuerzo y cimbras, y proveer puntos para elevación y amarre; reducciones para conectar diferentes diámetros de tubo; respiradores de aire para bombeo hacia abajo; equipo para limpieza y pescantes controlados eléctricamente o grúas especializadas.

9.3.4 Resistencia de la línea

Cuando el concreto se bombea por una sección recta de tubo o manguera, se mueve como cilindro avanzado sobre una membrana lubricante de lechada o mortero.¹⁷⁻¹⁹ Para obtener esta membrana lubricante, al inicio de la operación de bombeo, la primera mezcla bombeada por la línea debe ser una mezcla de mortero apropiadamente proporcionada. Esta mezcla debe emplearse exclusivamente para lubricación, excepto de una pequeña porción que pueda necesitarse para el llenado de las juntas de construcción y no debe utilizarse en la colocación del concreto. Para lograr la menor resistencia de la línea, la disposición del sistema de tubería debe contener el mínimo posible de curvas, y sin cambio en el diámetro de los tubos.²⁰ Un manejo cuidadoso de la tubería durante el ensamble, la limpieza y el desmonte, ayuda también a disminuir la resistencia de la línea, al impedir la formación de rugosidades en la superficie de las secciones de la tubería y hendiduras en los acoplamientos.

9.4 Proporcionamiento de concreto bombeado

9.4.1 Consideraciones básicas

Aunque los ingredientes de las mezclas colocadas por medio de bomba son iguales a los que son colocados por otros medios, es esencial para el éxito del bombeo del concreto contar con un eficiente control de calidad de la dosificación, mezclado, equipo, y con los servicios de personal dotado de conocimientos y experiencia en el bombeo de concreto.

Los principios para el proporcionamiento de concreto se describen en muchas publicaciones (véanse referencias 2, 5, 8, 10 y 51-56), pero aquí se recomiendan al lector particularmente las prácticas ACI 211.1-70¹⁹ y ACI 211.2-69²⁷ que describen los principios de proporcionamiento para concreto normal y ligero. El tamaño máximo del agregado grueso anguloso debe limitarse a una tercera parte del diámetro interior mínimo de la manguera o del tubo, y el tamaño máximo de los agregados bien redondeados debe limitarse al 40% del diámetro interior.

9.4.2 Agregados de peso normal

Se recomienda al lector el informe del Comité 621 del ACI²⁸ para una información básica sobre agregados para el concreto.

El volumen aproximado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto puede ser seleccionado de la tabla 9.4.2. El agregado grueso de peso normal debe cumplir con la norma ASTM C33.

Las propiedades de los agregados finos de peso normal (arena), juegan un papel más importante en el proporcionamiento de mezclas bombeables, que los agregados gruesos. Junto con el cemento y el agua, la arena suministra el mortero que lleva los sólidos o agregados gruesos en suspensión, permitiendo así que la mezcla sea bombeable.

La granulometría de la arena debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33 para arena (figs. 9.4.2a). La experiencia ha demostrado que debe darse atención particular a aquellas porciones que pasan las mallas más finas.^{50, 51}

Para sistemas pequeños de línea (menos de 15 cm, 6 pulg), del 15 al 30% debe pasar la malla No. 50, y del 5 al 10% debe pasar la malla No. 100. Las arenas deficientes en uno u otro de estos dos tamaños, deben combinarse con arenas seleccionadas más finas para lograr los porcentajes deseados.

Otro indicador importante de la granulometría de la arena adecuada para un bombeo es el módulo de finura. Las arenas con un módulo de finura entre 2.40 y 3.00 son generalmente satisfactorias.

Las características de bombeo del concreto que contiene arena natural, suelen ser mejores que las de aquel que contiene arena fabricada de la misma granulometría.

Particular atención debe darse a las notas al pie de la tabla 9.4.2, que per-

miten reducir el agregado grueso para el bombeo hasta un 10 por ciento. Esta reducción provee un margen de seguridad para variaciones en la granulometría de la arena, y reduce las presiones del bombeo. Sin embargo, con un buen control de materiales y un sistema de línea sin complicaciones, puede ser que esta reducción no sea necesaria. Los valores sugeridos en la tabla 9.4.2 pueden ser utilizados para agregados angulares y redondeados, porque las diferencias en la forma y granulometría de las partículas se compensan automáticamente por las diferencias en el peso unitario.

Como guía para seleccionar la granulometría apropiada para la arena, el porcentaje recomendado para cada tamaño de malla se indica en la fig. 9.4.2a junto a los límites ASTM. La figura 9.4b muestra la misma granulometría recomendada en términos de porcentaje individual retenido sobre cada malla y presenta un método más conveniente para determinar la cantidad que falta o sobra de cualquiera de los tamaños.

La figura 9.4.2c contiene franjas de granulometría de agregado combinado para tamaños máximos de 20 y 40 mm (¾ y 1½ pulgadas), que por experiencia han proporcionado concretos con características de bombeo óptimas. Sin embargo, el más bajo contenido práctico de arena debe determinarse mediante mezclas de prueba y su rendimiento.

9.4.3 Agregados ligeros estructurales

Los agregados ligeros tienen características de porosidad que los hacen más ligeros, y les permite absorber mayores cantidades de agua que los agregados de peso normal. Los procedimientos para calcular esta absorción se describen en ACI 211.2-69.⁵⁷ La absorción bajo presión atmosférica puede variar entre 5 y 25% por peso en agregados diferentes, y bajo las presiones ejercidas por el bombeo, la absorción puede ser considerablemente mayor, dando por resultado pérdida del agua del concreto dentro de la línea, y por lo tanto, en perjuicio del bombeo.

TABLA 9.4.2.—VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO DE PESO NORMAL. POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO*

Tamaño máximo de agregado		Volumen de agregado grueso varillado en seco por unidad de volumen de concreto para módulos de finura de la arena indicados**			
pulg.	mm	3	2.60	2.80	3.00
¾	9.51	0.50	0.48	0.46	0.44
½	12.7	0.59	0.57	0.55	0.53
¾	19.0	0.66	0.64	0.62	0.60
1	25.4	0.71	0.69	0.67	0.65
1½	38.1	0.75	0.73	0.71	0.69
2	50.8	0.78	0.76	0.74	0.72

* Tomado de tablas 5.2.6 y A 1.5.2.8, ACI 211.1-70.
 ** Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones de concreto reforzado usuales. Para concreto menos trabajable, tal como el que se requiere para la construcción de pavimentos, pueden aumentarse un diez por ciento. Para un concreto con mayor trabajabilidad, tal como puede requerirse para concreto bombeado, pueden reducirse hasta un 10 por ciento.

9.4.3.1 Humedecimiento previo del agregado ligero

Antes de utilizarlo en el concreto bombeado, el agregado de peso ligero debe ser humedecido mediante un riego apropiado de los montones o depósitos hasta las partes más profundas. Pueden necesitarse de 2 a 3 días de riego, pero el tiempo real en cada caso debe basarse en pruebas apropiadas o en la experiencia con el agregado particular que se está empleando. Un

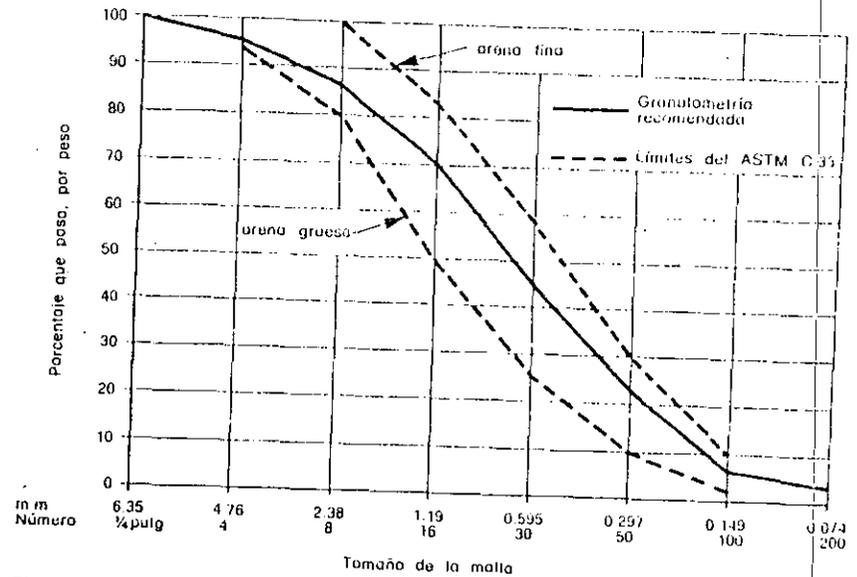


Fig. 9.4.2. a. Límites sugeridos para la granulometría de arena de peso normal para concreto bombeado.

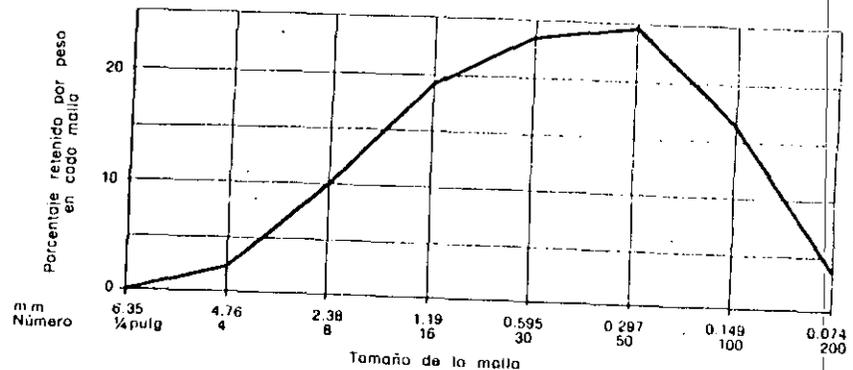


Fig. 9.4.2b. Valores sugeridos de granulometría en cada malla para arena de peso normal para concreto bombeado.

DIAMETRO DE LAS PARTICULAS
(Número de malla y pulgadas)

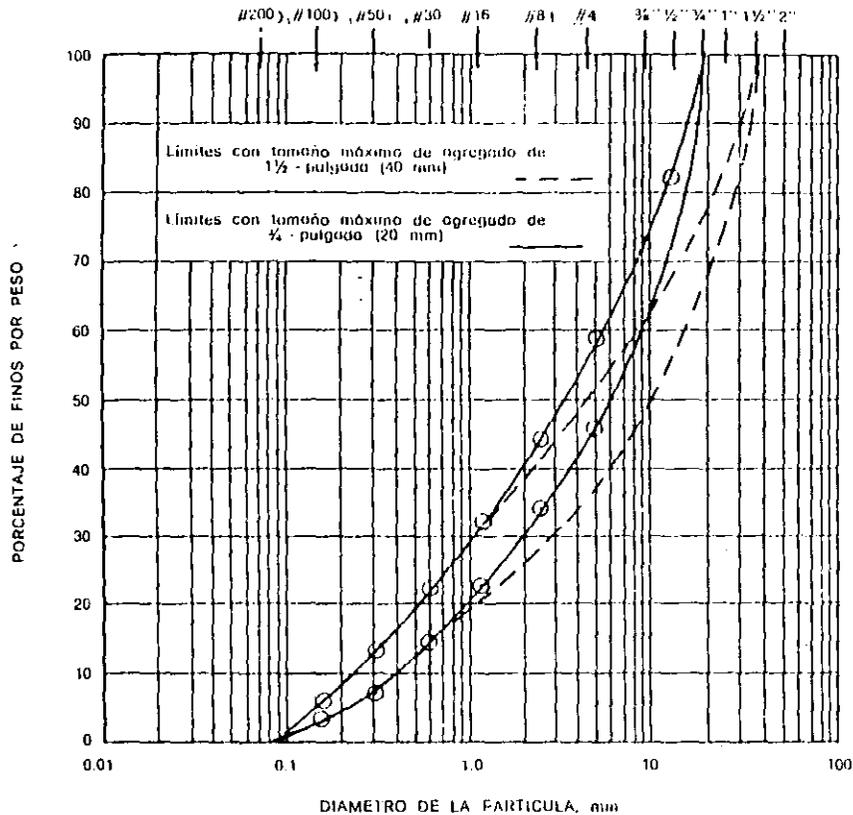


Fig. 9.4.2c. Granulometría combinada de agregado de peso normal recomendada para concreto bombeado.

contenido de humedad mínima práctica, después del humedecimiento debe ser igual o mayor que el promedio de absorción en 24 horas, tal como se determina en las pruebas normales de la ASTM.

El humedecimiento de la arena de peso ligero ayuda a impedir que las fracciones finas se segreguen de las gruesas, pero debe evitarse un humedecimiento excesivo, porque entonces se observa que las partículas finas están desapareciendo con el lavado. Debe permitirse que el agua libre drene de los montones de los agregados humedecidos, durante 2 a 4 horas, antes de emplearlos en el concreto, para permitir un control de revenimiento uniforme. El humedecimiento de la arena de peso ligero en ocasiones se

logra en el tambor de la mezcladora con dos terceras partes del agua total de mezclado, antes de agregar los demás ingredientes. Aun cuando los agregados de peso ligero estén humedecidos, es generalmente necesario compensar la absorción adicional (o pérdida por revenimiento), que ocurre durante el bombeo por usar contenidos mayores de arena, cemento y agua, y arenas más finas, agentes inclusores de aire, aditivos reductores de agua y puzolanas. La tabla 9.4.3.1 da la cantidad de agregado grueso ligero humedecido atmosféricamente, que por lo general se usa en el concreto bombeado.

9.4.3.2 Saturación al vacío y térmica

Se ha desarrollado un proceso patentado para humedecimiento previo de agregados ligeros, por medio del cual los agregados, saturados por vacío, se colocan en un tanque.⁵⁶ La absorción de humedad por este proceso, que se completa en 30 ó 45 minutos, puede duplicar o triplicar la absorción regular de 24 horas.

El proceso de saturación térmica para humedecer el agregado ligero, que se emplea con buen éxito en algunas plantas, consiste en sumergir el agregado caliente en agua. Para evitar al agregado el choque térmico y posible daño, debe determinarse previamente la óptima combinación de las temperaturas tanto del agregado como del agua, para agregado específico. Este proceso se adapta especialmente a las plantas que utilizan equipo de enfriamiento mecánico, tal como enfriadores giratorios. La absorción de humedad por este proceso equivale aproximadamente al que se logra por el proceso al vacío.

Cuando se emplea agregado ligero saturado térmicamente y al vacío, la absorción durante el bombeo es virtualmente nula y el concreto responde casi de la misma manera que cuando se usan agregados de peso normal. Las proporciones de agregado mostradas en la tabla 9.4.2 pueden emplearse con una tolerancia apropiada para la diferencia entre volúmenes secos sueltos

TABLA 9.4.3.1 VOLUMEN PROPUESTO DE AGREGADO GRUESO DE PESO LIGERO SATURADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO*

Tamaño máximo de agregado		Módulo de finura de agregados finos combinados			
pulg.	mm	2.20	2.40	2.60	2.80
3/4	9.4	0.36	0.34	0.33	0.31
1/2	12.5	0.42	0.41	0.39	0.38
3/8	18.8	0.50	0.49	0.47	0.46

* Los volúmenes se basan en agregados de peso ligero sin compactar como se describe en la norma ASTM C29. Los valores se basan en un estudio métrico de prácticas empleadas por productores de agregados de peso ligero de los Estados Unidos. La experiencia ha demostrado que el tiempo mínimo requerido para saturarse puede ser de 2 a 3 días. El tiempo real requerido debe basarse en pruebas adecuadas, o en experiencias con el agregado específico que se va a utilizar.

y varillado en seco (seco suelto = varillado en seco $\times 1.10$). Las pruebas de laboratorio del concreto que contiene estos agregados procesados especialmente, han indicado una resistencia deficiente a la congelación y deshielo, pero cuando se ha permitido que el concreto seque durante varias semanas después de períodos de curado adecuados, su resistencia se ha mejorado notablemente. Estas pruebas indican que deben tomarse precauciones de curado-secado, similares cuando este concreto se usa en áreas sujetas a congelación y deshielo.

9.4.3.3 Granulometría y peso unitario de agregados de peso ligero

La granulometría de los agregados de peso ligero debe caer dentro de los límites fijados por la norma ASTM C 330. Además, de un 25 a 35% de las fracciones de arena debe pasar por la malla No. 50 (0.297 mm), y de 10 a 20% por la malla No. 100 (0.149 mm). Si estas medidas no son adecuadas para las arenas, puede corregirse la deficiencia agregando arena de peso normal o un suplemento mineral. Aunque mejora la granulometría total de los agregados finos combinados, esto aumentará el peso de la mezcla del concreto terminado.

El peso específico de las diferentes fracciones de tamaño del agregado ligero aumenta al disminuir el tamaño de las partículas; así el módulo de finura calculado a base de peso no es enteramente exacto.⁶⁷ Sin embargo, puesto que no es práctico calcular el módulo de finura a base de volumen, se sugiere que se calcule a base de peso, tal como la arena de peso normal. Si se concede una tolerancia arbitraria de 0.20 de diferencia en la finura del módulo entre arenas de peso normal y de peso ligero, la escala sugerida en el módulo de finura para las de peso ligero será de 2.20 a 2.80 en vez de la variación mencionada anteriormente de 2.40 y 3.00 para las arenas de peso normal. La experiencia hasta la fecha no indica la necesidad de una mayor exactitud.

El peso unitario de los agregados ligeros fluctúa debido a cambios en la granulometría, cambios en el contenido de humedad, características expansivas de las materias primas, o en una combinación de estos tres factores. Aunque se permiten variaciones dentro de ciertos límites según la norma ASTM C 330, deben hacerse los ajustes en los pesos de la mezcla para compensar estos cambios, y mantener adecuadamente el rendimiento, la consistencia y el peso unitario. La dosificación de agregados gruesos por volumen en lugar de por peso, es otro método establecido para mantener control sobre estas características.

9.4.4 Agua y revenimiento

Los requerimientos del agua de mezclado varían según los diferentes tamaños máximos del agregado y los diferentes revenimientos. Se presenta en la norma ACI 211.1-70¹⁰ una tabla que muestra la cantidad aproximada de

agua que se requiere para diferentes mezclas de concreto de peso normal con o sin aire incluido.

Para concreto ligero, los requerimientos totales de agua serán diferentes que para mezclas de peso normal. Esto, como se ha indicado anteriormente, se debe a diferencias en las propiedades absorbentes de los agregados. El agua total debe considerarse en dos partes, agua "activa" y agua "absorbida". El agua activa determinará el revenimiento y tendrá una conexión directa con la relación agua/cemento, mientras que el agua absorbida por las partículas de peso ligero no afectará directamente la calidad de la pasta. Los requerimientos de agua "activa" en el concreto ligero son aproximadamente los mismos que para una mezcla semejante de concreto regular. Sin embargo, el agua absorbida variará como se ha expuesto anteriormente. Para reducir al mínimo estas variaciones, se ha hecho hincapié en la necesidad del humedecimiento previo.

La experiencia indica que los revenimientos de menos de 5 cm (2 pulgadas) son imprácticos para bombear, y que los revenimientos de más de 15 cm (6 pulgadas), deben evitarse. En mezclas con revenimiento alto, el agregado se segregará del mortero y de la pasta, pudiendo causar un bloqueo en las líneas de bombeo. Las mezclas excesivamente aguadas presentan un sangrado excesivo y un aumento en la contracción. **Es mucho más importante obtener una mezcla verdaderamente "plástica" mediante el apropiado proporcionamiento que tratar de salvar las dificultades agregando más agua.**

9.4.5 Contenido de cemento

Las normas ACI 211.1-70¹⁰ y ACI 211.2-69⁶⁷ pueden emplearse como guías para la determinación del contenido de cemento. Sin embargo, debido a los usuales rangos de revenimiento requeridos y las proporciones antes discutidas entre agregados finos y gruesos, las mezclas para bombeo suelen requerir un aumento en la cantidad de cemento, respecto de la que se utiliza para el concreto colocado convencionalmente.

Debe reconocerse que las mezclas de peso ligero bombeables que utilizan aun proporciones más altas de agregados finos y gruesos, y un revenimiento mayor que las mezclas para bombeo de peso normal, pueden requerir un ajuste mayor en el contenido de cemento.

Para determinar el contenido de cemento para mezclas de prueba de peso normal o ligero, debe usarse, cuando esté disponible, información de los proveedores de agregados y del concreto. Debe reconocerse también la necesidad de proporcionar resistencias mayores en el laboratorio, para prevenir las variaciones que en el campo producen resistencias más bajas.⁶⁸

9.4.6 Aditivos

Los aditivos seleccionados para usarse como ayuda en el bombeo de concreto, suelen proveer efectos deseables tales como lubricación adicional,

reducción de la segregación y disminución del sangrado. Los aditivos frecuentemente utilizados en mezcla para bombeo son los reductores de agua, los inclusores de aire, y los aditivos minerales finalmente divididos. Está fuera del alcance de este informe una discusión sobre todos los tipos de aditivos para concreto, pero puede consultarse el último informe del Comité ACI 212 para mayores datos.²¹

Los beneficios importantes que pueden derivarse de los aditivos reductores de agua son: una reducción del agua requerida para un revenimiento constante, con el consiguiente aumento de resistencia, o un aumento en el revenimiento con la relación agua/cemento constante, sin ninguna pérdida de resistencia y mejorando la capacidad del concreto para bombearse. Los aditivos reductores de agua deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494.

El concreto con aire incluido es considerablemente más plástico y manejable que el concreto sin aire incluido. Puede bombearse con menos segregación del agregado grueso, hay menos tendencia del concreto al sangrado y se facilita la continuidad de la colocación del concreto después de una suspensión del trabajo, debido a esta reducción del sangrado.

Los límites²¹ de contenido de aire para conseguir la durabilidad deseada del concreto bombeado sujeto a ciclos de congelación y deshielo, deben cumplirse con el concreto en el lugar de su colocación en la estructura. Cuando la durabilidad no constituye un factor importante, puede usarse un contenido de aire de 3 a 5%, ya que las variaciones mayores reducen la capacidad de entrega de los sistemas de bombeo, debido al aumento en la comprensibilidad del concreto. Una alta comprensibilidad puede hacer imposible el bombeo en algunos recorridos altos o largos.

Los aditivos inclusores de aire deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C260.

Mezclas minerales finamente molidas o aditivos pueden emplearse en concretos bombeados para corregir deficiencias en las arenas, reducir el sangrado y mejorar la plasticidad. Los materiales que pueden incluirse en esta categoría son:

1. Materiales químicamente inertes, tales como caliza molida, cuarzo molido y cal hidratada.
2. Materiales cementantes, tales como cemento natural (ASTM C10), escoria granulada de altos hornos de hierro, cales hidratadas (ASTM C141) y cementos de escoria (ASTM C 595); y
3. Puzolanas, tales como ceniza volante, vidrio volcánico y algunos esquistos o arcillas tratadas con calor (ASTM C618) y tierra de diatomita.

Los polímeros solubles en agua, obtenidos de derivados de celulosa, se han utilizado limitadamente como un aditivo en mezclas para bombeo. Pequeñas cantidades de estos polímeros, de 60 a 150 gr/m³ (0.10 a 0.25 lb/yd³), aumentan la viscosidad del agua de la mezcla y parece que reducen la resistencia por fricción y el sangrado en el sistema de tubería. Se necesitan investigaciones adicionales y experiencia de campo con concreto que

contenga estos polímeros para establecer plenamente su aplicación en el concreto bombeado.

9.4.7 Mezclas de prueba

Las mezclas de prueba destinadas al bombeo deben prepararse y probarse en el laboratorio, de acuerdo con todas las normas aplicables de la ASTM.

Para el concreto de peso normal sígase el método descrito en la norma ACI 211.1-70, utilizando la tabla 9.4.2 para seleccionar el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Para concreto ligero sígase el método descrito en la norma ACI 211.2-69, pero utilícese la tabla 9.4.3.1 como guía para seleccionar el volumen de agregado grueso humedecido atmosféricamente, y la tabla 9.4.2 para agregados saturados al vacío o térmicamente.

9.4.8 Pruebas para bombeo

Puesto que no existe ningún aparato de laboratorio reconocido, ni equipo específico disponible para comprobar en el laboratorio la bombeabilidad de una mezcla, se recomienda que se acepte la mezcla para usarse en el trabajo de bombeo, basándose en una prueba actual bajo las condiciones de campo. La comprobación de una mezcla para su bombeo implica una duplicación de las condiciones de trabajo que se prevean, incluyendo la dosificación y el mezclado en camión, la bomba y el operario, y la trayectoria de la tubería y de la manguera. El uso previo de una mezcla en otro trabajo puede proporcionar datos sobre su comportamiento, pero sólo cuando las condiciones sean las mismas o muy semejantes.

9.5 Prácticas de campo

La bomba debe instalarse lo más cerca posible del área de colocación, y el área de entrega no debe impedir el suministro continuo del concreto. Las líneas del bombeo deben trazarse con un mínimo de curvas, éstas sostenidas firmemente, utilizando alternativamente tubos rígidos y tuberías o mangueras flexibles que permitan la colocación del concreto, directo en áreas extensas de la obra sin necesidad de manejo adicional. Para colocaciones importantes de concreto y para trabajos grandes debe tenerse disponible un equipo de suministro de energía y de bombeo en reserva para remplazar al equipo, en caso de falla.

Cuando se bombea hacia abajo por 15 m (50 pies) o más, es deseable proveerse de una válvula de alivio, en medio de la curva superior, para impedir el vacío o el incremento del aire. Cuando se bombea hacia arriba es deseable tener una válvula cerca de la bomba para impedir el retroceso del concreto durante el ajuste del equipo por limpieza, o cuando se está trabajando en la bomba.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

- Debe mantenerse una comunicación directa entre el operador de la bomba y el de la cuadrilla que coloca el concreto. Es también deseable que exista una buena comunicación entre el operador de la bomba y la planta dosificadora. Como comprobación final, la bomba debe echarse a andar y operarse sin concreto, para asegurar que todas las partes móviles estén funcionando en forma debida. Tan pronto como se reciba el concreto, la bomba debe operarse lentamente, hasta que las líneas se llenen por completo y el concreto avance uniformemente. El bombeo debe ser continuo, ya que si la bomba se detiene, el movimiento del concreto en la línea difícilmente puede reanudarse, o imposible de iniciar nuevamente el movimiento del concreto. Cuando ocurra alguna demora debido a tardanzas en la entrega del concreto, reparaciones en las cimbras, o a otros factores, debe disminuirse la velocidad de la bomba, pero manteniendo algo del movimiento del concreto para evitar obstrucciones. Si después de una demora no se puede mover el concreto en la línea, será necesario vaciar una o varias secciones de la línea entera, y volver a empezar. Cuando la cimbra está casi llena y hay suficiente concreto en la línea para completar el vaciado, se suspende el bombeo y se introduce un diablo, forzándose el concreto a través de toda la línea para limpiarla. Para empujar el diablo ("go-devil"), se puede emplear agua o aire. El diablo debe detenerse varios metros antes de llegar al final de la línea, de manera que el agua en la línea no se derrame dentro del área de colocación del concreto. Si se utiliza aire, debe tenerse mucho cuidado en regular el suministro y la presión del aire, e instalarse un tubo en U al final de la línea para impedir que el diablo salga disparado como un proyectil peligroso. También debe instalarse en la línea una válvula de escape del aire para evitar la acumulación de presión. Después de que todo el concreto haya sido sacado de las líneas, éstas y el equipo deben limpiarse cuidadosamente.

9.6 Bombeo en revestimiento de túneles

Para una discusión detallada sobre los procedimientos que deben emplearse para bombear el concreto para el revestimiento de los túneles, se recomiendan las referencias 44 y 62. Los costados del revestimiento deben levantarse suave y llanamente, bombeando por las aberturas practicadas en la cimbra. La corona del revestimiento se rellena mediante tubos de caída previstos a través de la cimbra, o utilizando una línea que corra por la cima de la cimbra, comúnmente conocida como línea resbaladiza ("slick-line").^{44,62} Esta línea se mantiene en todo momento introducida profundamente dentro del concreto, ejerciendo así altas presiones de compactación que fuerzan el concreto hacia arriba, hasta adentro de las irregularidades de las rocas, para lograr que se llene bien la corona del revestimiento. La línea de bombeo se va sacando paulatinamente de la cimbra, al paso que se va completando el vaciado. Cuando se emplean bombas neumáticas, debe usarse una caja de descarga o cubierta en, o cerca de la extremidad de des-

BOMBEO DE CONCRETO

carga de la línea de bombeo, para impedir que haya una descarga del concreto a alta velocidad, hasta que la extremidad esté bien enterrada dentro de la masa de concreto.

9.7 Control de campo

Son importantes los puntos en los cuales se toman las muestras del concreto. La norma ASTM C94 para concreto premezclado, establece que las muestras se tomen del conducto de descarga del camión-revolvedora, y la norma ASTM C172 estipula que las muestras se tomen del punto de descarga de una mezcladora fija. En el caso de concreto bombeado, debe practicarse el muestreo tanto en el punto de entrega a la bomba como en el punto de vaciado al final de la línea, para determinar si están ocurriendo algunos cambios en el revenimiento, contenido de aire, u otras características de la mezcla. Sin embargo, la calidad que se está colocando en la estructura sólo puede medirse en el extremo de la línea que se encuentra en el punto de colocación.

La necesidad de controlar cada operación ha sido puesta de relieve en todo este capítulo. La buena inspección es probablemente el mejor medio para lograr un trabajo satisfactorio. El manual de inspección del concreto (ACI Manual of Concrete Inspection)¹ da un bosquejo detallado de la inspección que ha de ejercerse en la construcción con concreto. Los buenos materiales y el buen equipo, en manos de personas competentes y con conocimientos, siempre rendirán buenos resultados, y esto es particularmente cierto en el caso del concreto bombeado.

CAPITULO 10
**CIMBRA,
LIMPIEZA Y ACABADO**

10.1 Cimbras

El diseño y la construcción de cimbras para el concreto deben cumplir con las Prácticas Recomendadas para Cimbras de Concreto ("Recommended Practice for Concrete Formwork ACI 347-68").³⁸ Puesto que la ejecución de construcciones de concreto frecuentemente se juzga por la apariencia del concreto al quitarse las cimbras, es importante el comportamiento apropiado de las cimbras bajo las cargas de construcción.

Las juntas, esquinas, conexiones y rebabas de los paneles de las cimbras deben estar lo suficientemente bien ajustadas como para contener la mezcla fluida. Las salientes y desalineaciones deben evitarse en las juntas horizontales, montando de nuevo las cimbras con sólo 2.5 cm (1 pulgada) de traslape al concreto, debajo de la línea hecha por un listón de nivel, y atando y atornillando firmemente las cimbras cerca de la junta.² Las muescas labradas también pueden utilizarse para ocultar juntas de construcción, mejorando la apariencia cuando están bien dispuestas.² Los amarres empleados en las cimbras deben dejar agujeros lo más pequeños posible y su diseño debe permitir que se quiten, sin descascarar el concreto circundante. La salida del mortero alrededor de los amarres debe evitarse, y el relleno de agujeros, cuando sea necesario, debe hacerse de manera que se logre un parche seguro, sano, sin contracciones e invisible.^{1, 2}

Las cimbras deben protegerse del deterioro, de la intemperie y de las contracciones antes de colocar el concreto, aceitándolas o humedeciéndolas convenientemente. Las superficies de las cimbras deben estar limpias y ser de textura uniforme, y cuando se vuelven a emplear deben limpiarse y aceitarse con cuidado. Las cimbras de acero deben limpiarse con esmero, pero jamás con chorro de arena, ni rasparse hasta dejar el metal brillante. Cuando se encuentran desconchaduras ("peeling") en la cimbra de acero, su condición se mejora generalmente limpiándola de desechos, dejándola por un día aceitada al sol, frotando vigorosamente con parafina líquida las áreas afectadas, o aplicando una delgada capa de laca. A veces la desconchadura

es el resultado de la abraisón de ciertas áreas de la cimbra por impacto durante el vaciado, lo que se puede enmendar protegiendo estos puntos temporalmente con madera u hojas de metal.

Debe proveerse acceso amplio al interior de las cimbras para la conveniente limpieza, colocación, vibración e inspección del concreto y para usar el concreto de proporcionamiento adecuado (sin revenimiento excesivo o contenido de arena o utilizando un agregado de tamaño menor que el apropiado para la obra).

Por la apariencia, es importante prestar la debida atención a la marca que hace una junta de construcción sobre las superficies expuestas del concreto. No deben permitirse las juntas de construcción irregulares, y debe lograrse una superficie pareja, preferiblemente horizontal, llenando las cimbras hasta enrasarlas.² Puede usarse una tira rasante en V, o rectangular y biselada, para formar una ranura en la junta de construcción cuando esto sea apropiado.

Para el revestimiento de taludes y colocados similares, en lugar de cimbras fijas es preferible una cimbra deslizante de acero, de movimiento continuo libre de vibraciones, semejantes a la mostrada en la figura 6.1k. El concreto en estas secciones debe vibrarse internamente delante de la placa de cabecera de la cimbra deslizante.^{2, 4}

10.2 Limpieza—Preparación de juntas horizontales de construcción

La superficie de la junta de construcción debe prepararse para asegurar una adecuada adherencia con el concreto colocado posteriormente y para lograr impermeabilidad cuando se necesite.^{2, 03, 04} No es difícil lograr una junta satisfactoria cuando se ha empleado concreto de alta calidad de revenimiento bajo y se ha colocado correctamente. Cuando se ha empleado concreto de revenimiento alto, o cuando una excesiva vibración en la parte alta del concreto vaciado, o las maniobras de tránsito en la obra, han llevado a la superficie grandes cantidades de agua de sangrado y de mortero, el concreto en la superficie del vaciado es de tan mala calidad que es difícil lograr una adecuada limpieza. En este caso la limpieza llamada de corte verde ("green cut"), es un buen método para reparar una junta de inferior calidad, que un buen trabajo no nos hubiera dado.

El primer paso debe consistir en quitar toda la nata y la superficie de concreto de calidad defectuosa, mediante un chorro fuerte de aire y agua, a aproximadamente 7 kg/cm^2 (100 psi), después de que el concreto haya endurecido lo suficiente, para impedir que el chorro desmorone la superficie más allá de la profundidad deseada. Mediante un buen lavado debe quitarse el agua estancada que al secarse deja una película débil en la superficie, después de completarse la operación de limpieza principal. La superficie de las juntas así tratadas, debe curarse continuamente con humedad, y, si es posible, no debe permitirse que llegue a secar durante el intervalo entre los vaciados del concreto, excepto posiblemente durante las últimas horas.

Antes de la colocación del concreto nuevo, la superficie debe restaurarse, hasta que se logre la misma condición de limpieza que tenía inmediatamente después del "corte verde", lavándola otra vez con un chorro de agua y aire, y acepillándola vigorosamente con escoba de alambre fino, o con un chorro de arena si es necesario. Si la superficie ha sido curada apropiadamente con arena mojada, será necesario escobillar muy poco o limpiar con chorro de arena antes del vaciado. El "corte verde" efectuado entre 4 y 12 horas después de la colocación, seguido de una esmerada limpieza final, puede usarse con buen éxito cuando la calidad del concreto en la junta es buena.

La superficie de la junta de construcción se prepara mediante el chorro de arena mojada, después de que el concreto se ha endurecido, y en general, inmediatamente antes de la colocación del nuevo concreto.^{2, 03, 04} Este método produce excelentes resultados en la superficie de juntas horizontales, particularmente en aquellos vaciados con concreto de revenimiento de 5 cm (2 pulgadas) o menos, utilizando vibradores internos.

Otro método para limpiar juntas de construcción consiste en usar chorros de agua de alta presión hasta de 490 kg/cm^2 (7 000 psi). Como en el método de chorro de arena, la limpieza se realiza cuando el concreto está suficientemente endurecido, de manera que únicamente la superficie del mortero se quita y no hay nada de socavación de las partículas del agregado grueso. Un lavado inmediatamente antes de un nuevo vaciado de concreto es necesario solamente si se han acumulado tierra y desechos en la superficie desde que se hizo la limpieza.

En algunos casos, la colocación del nuevo concreto es precedida por la colocación de una capa de 0.5 a 1 cm ($\frac{1}{4}$ hasta $\frac{3}{8}$ de pulgada) de mortero del mismo proporcionamiento que el del concreto. Esta debe escobillarse en la superficie de la junta con escobas de alambre. En cimbras de columna o cimbras estrechas y profundas, donde no es conveniente el uso de una mezcla de empaque, es preferible empezar la colocación con varios centímetros de concreto que contenga mortero que exceda al de la mezcla normal y posiblemente con agregado de tamaño menor.

10.3 Acabado de superficies

Para lograr una superficie durable del concreto se tienen que seguir con cuidado los procedimientos apropiados. El concreto utilizado debe ser del menor revenimiento posible para su consolidación apropiada, preferiblemente mediante vibración mecánica interna. Después de la consolidación, los trabajos de aplanado y pulido, y el primer allanado deben llevarse a cabo de tal manera que el concreto se trabaje y se manipule lo menos que sea posible, para obtener el resultado deseado. Manipular el concreto en demasía, trae excesivos finos y agua a la superficie, dañando la calidad de la superficie terminada y causando efectos indeseables como agrietamiento, cuarteaduras y polvo. Por la misma razón, cada paso en la operación del acabado, desde el primero hasta el último aplanado, deben posponerse tanto

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

como sea posible para lograr el grado deseado de textura superficial. El agua libre no suele aparecer y acumularse entre operaciones de acabado, si se emplean proporciones apropiadas en la mezcla y en la consistencia. Sin embargo, si hay acumulación de agua, debe quitarse secándola con afelpados, drenándola, etc., para lograr que la superficie pueda perder el brillo del agua antes de llevar a cabo la siguiente operación de acabado. En ninguna circunstancia debe emplearse algún instrumento de acabado en ningún área antes de que el agua acumulada se haya quitado, ni deben trabajarse estas superficies con cemento puro o mezclas de arena y cemento para secarlas.

Es posible obtener resultados satisfactorios de un mortero dosificado correctamente, colocándolo y trabajándolo antes de que el concreto haya fraguado. La consistencia, consolidación y acabado de la mezcla deben ser como se ha descrito arriba. Sin embargo, un concreto de proporcionamiento, consistencia y textura correctas, así como acabado monolíticamente con el concreto de base, es preferible a un acabado de mortero.

Para una discusión detallada y recomendaciones para acabado de losas y piso, consúltese la Práctica Recomendada para la Construcción de Pisos y Losas del ACI 302-69 ("Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction").⁶⁶

Varios acabados especiales de piso que se instalan sobre superficies de concreto endurecidas, requieren técnicas especiales y no se incluyen en estas prácticas recomendadas.

CAPITULO II

FUENTES DE INFORMACION

11.1 Normas del Cuerpo de Ingenieros y de la ASTM

Las normas de la Sociedad Americana de Ensaye de Materiales y del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, mencionadas en este informe, se enumeran a continuación, con su código correspondiente, incluyendo el año en que cada norma se adoptó o fue revisada. Las normas indicadas corresponden a las últimas ediciones a la fecha en que el informe fue preparado. Debido a que estas normas son revisadas frecuentemente, en detalles menores principalmente, el usuario deberá verificar con la asociación correspondiente si desea consultar la última edición.

11.1.1 Norma ASTM

C10-64	Standard Specifications for Natural Cement
C29-69	Standard Method of Test for Unit Weight of Aggregate
C33-67	Standard Specifications for Concrete Aggregates
C94-69	Standard Specifications for Ready mix Concrete
C127-68	Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate
C128-68	Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate
C141-67	Standard Specifications for Hydraulic Hydrated Lime for Structural Purposes
C150-69	Standard Specifications for Portland Cement
C172-68	Standard Method of Sampling Fresh Concrete
C260-69	Standard Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete
C330-69T	Standard Specifications for Lightweight Aggregates for Structural Concrete (Tentative)
C494-68	Chemical Admixtures for Concrete
C595-68	Standard Specifications for Blended Hydraulic Cements
C618-68T	Tentative Specifications for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use in Portland Cement Concrete
C637-69T	Aggregates for Radiation-Shielding Concrete

11.1.2—Normas del Cuerpo de Ingenieros

- CRD - C55-65 Method of Test for Concrete Mixer Performance.
 CRD - C79-58 Method of Test for Flow of Grout Mixtures (Flow Cone Method).
 CRD - C80-64 Method of Test for Water Retentivity of Grout Mixtures.
 CRD - C81-64 Method of Test for Expansion of Grout Mixtures.
 CRD - C84-63 Method of Test for Compressive Strength of Preplaced Aggregate Concrete.
 CRD - C85-64 Method of Selecting Proportions for Intrusion Grout Mixtures.
 CRD - C566-64 Specifications for Grout Fluidifier.

11.2—Referencias

1. "Manual of Concrete Inspection," SP-2, *American Concrete Institute*, Detroit, 5th Edition, 1967, 270 pp.
2. *Concrete Manual*, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Seventh Edition 1966, 642 pp.
3. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71)," *American Concrete Institute*, Detroit, 1971, 78 pp.
4. *Guide Specifications for Highway Construction*, American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., 1968.
5. *Standard Practice for Concrete (EM 1110-2-2000)*, Department of the Army, Office of Chief of Engineers, Washington, D.C., November 1971.
6. *Standard Guide Specifications for Concrete*, Department of the Army, Corps of Engineers, Abril 1971, 110 pp.
7. *A Study of Mixing Performance of Large Central Plant Concrete Mixers*, U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, D.C., July 1966.
8. "Specifications for Ready Mixed Concrete", (C94-69), *1970 Annual Book of ASTM Standards*, Part 10, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 55-68.
9. Tuthill, L.H., "Developments in Methods of Testing and Specifying Coarse Aggregates," *ACI Journal*, Proceedings V. 39, No. 1, Sept. 1942, pp. 21-32.
10. *Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete (ACI 211.1-70)*, American Concrete Institute, Detroit, 1970, 16 pp.
11. *Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (ACI 211-65)*, American Concrete Institute, Detroit, 1965, 21 pp. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
12. "Standard Specifications for Concrete Aggregates," (ASTM C-33-67), *1970 Annual Book ASTM Standards*, Part 10, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 15-21.
13. Tynes, W.O., "Influence of Fine-Coarse Aggregate Grading on Properties of Concrete," *Technical Report No. 6-544*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Oct. 1962, 25 pp.
14. Hveem, F.N., and Tremper, B., "Some Factors Influencing Shrinkage of Concrete Pavements," *ACI Journal*, Proceedings, V. 53, No. 8, Feb. 1957, pp. 787-789.
15. Van Alstine, C.B., "Mixing Water Control by Use of a Moisture Meter," *ACI Journal*, Proceedings V. 52, No. 3, Nov. 1955, pp. 341-348. También, Discussion Part 2, Dic. 1956, pp. 1-209.
16. Lovern, J.D., "Important Variables Affecting Moisture Control," *Modern Concrete*, V. 30, No. 4, Agosto 1966, pp. 44-46.
17. Bozarth, F.M., *Case Study of Influences of Imbalances in Charging of Cement and Water on Mixing Performance of an Eight Cubic Yard Central Plant Mixer*, U.S. Bureau of Public Roads, Washington, D.C., July, 1967.
18. *Concrete Plant Standards of the Concrete Plant Manufacturers Bureau*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, Maryland, 4a. edición, Marzo 1970, 7 pp.
19. *Handbook 44: Specifications, Tolerances, and Other Technical Requirements for Commercial Weighing and Measuring Devices*, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 3a. edición, Octubre 1965.
20. *Certification of Ready Mixed Concrete Production Facilities—Instructions and Check List*, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, First Revision, Julio 1967.
21. ACI Committee 212, "Guide for Uses of Admixtures in Concrete", *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 9, Sept, 1971, pp. 646-676. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
22. *Concrete Plant Mixer Standards of the Plant Mixer Manufacturers Division Concrete Plant Manufacturers Bureau*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, Maryland, Enero 1970.
23. "Method of Test for Concrete Mixer Performance," (CRD-C55-65), *Handbook for Concrete and Cement*, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss., 1965, 6 pp.
24. "Factors Affecting the Homogeneity of Ready Mixed Concrete," *NARCA Report No. 1, Phase 1*, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 1969, 31 pp. También, *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 7, Julio 1971, pp. 521-525.
25. ACI Committee 305, *Recommended Practice for Weather Concreting (ACI 305-72)*, American Concrete Institute, Detroit, 1972, 15 pp.
26. ACI Committee 306, *Recommended Practice for Cold Weather Concreting (ACI 306-66)*, American Concrete Institute, Detroit, 1966, 25 pp. También *Manual of Concrete Practice, Part 1*.
27. *Recommended Practice for Shotcreting (ACI 506-66)*, American Concrete Institute, Detroit, 1966, 26 pp. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 3*.
28. ACI Committee 309, *Proposed ACI Standard: Recommended Practice for Consolidation of Concrete*, *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 12, Dic. 1971, pp. 893-933.
29. Robinson, W.J., and Tuthill L.H., "Better Concrete in Slope Paving by Use of Slip Forms," *ACI Journal*, Proceedings V. 50, Sept., 1954, pp. 49-64.
30. Gillis, L.R. and Sprickelmire, L.S., "Slip Form Paving in the United States," *Technical Bulletin No. 263*, American Road Builders Association, 1967.
31. Davis, R.E. Jr., and Hallenhoff, C.E., "Mackinac Bridge Pier Construction," *ACI Journal*, Proceedings V. 53, No. 6, Dic. 1956, pp. 581-596.
32. Shideler, J.J., and Litvin, A., "Structural Applications of Pumped and Sprayed Concrete," *Development Department Bulletin D72*, Portland Cement Association, Enero 1964, 29 pp.
33. Davis, R.E. Jr.; Johnson, C.V.; and Wendall G.E., "Kemano Penstock Tunnel Liner Backfilled with Prepacked Concrete," *ACI Journal*, Proceedings, V. 52, No. 3, Nov. 1955, pp. 287-308.
34. "Investigation of the Suitability of Prepacked Concrete for Mass and Reinforced Concrete Structures," *Technical Memorandum No. 6-330*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Agosto 1954, 44 pp.
35. King, J.C., "Concrete by Intrusion Grouting," *Handbook of Heavy Construction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959, Chapter 12.
36. "Final Report of Tests on Prepacked Concrete - Barker Dam Materials Laboratories," *Report No. C-338*, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Marzo 1949.
37. Tynes, W.O., and McDonald, J.E. "Investigation of Resistance of Preplaced Aggregate Concrete to Freezing and Thawing," *Miscellaneous Paper No. C 68-6*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Sept. 1968, 34 pp.
38. ACI Committee 347, *Recommended Practice for Concrete Formwork (ACI 347-68)*, American Concrete Institute, Detroit, 1968, 36 pp.
39. Davis, R.E., "Prepacked Method of Concrete Repair," *ACI Journal*, Proceedings, V. 57, No. 2, Agosto 1966, pp. 155-172.
40. Williams, J.W., "Tremie Concrete Controlled with Admixtures," *ACI Journal*, Proceedings V. 55, No. 8, Feb. 1959, pp. 839-850.
41. Gerwick, B.C., "Placement of Tremie Concrete," *Symposium on Concrete in Aqueous Environments*, SP 8, American Concrete Institute, Detroit, 1964, pp. 9-20. Abstract, *ACI Journal*, Proceedings V. 61, No. 7, July 1964, p. 8921.
42. "Pumping Concrete," *Concrete Construction*, V. 13, No. 11, Nov. 1968, pp. 413-426.
43. "Concrete Placers—What's Available," *Construction Methods and Equipment*, V. 47, No. 6, Junio 1965, pp. 140-148.
44. *Pumpcrete Practice*, Chain Belt Company, Milwaukee, Sixth Edition, 1963, pp. 71-80.

45. "Concrete Pumped 504 Feet Straight Up to a Record," *Engineering News-Record*, V. 181, Dic. 5, 1968, p. 26.
46. Newton, Howard Jr., and Ozol, Michael A., "Delayed Expansion of Concrete Delivered by Pump Through Aluminum Pipeline," *Concrete Case Study No. 20*, Virginia Highway Research Council, Oct. 1969.
47. Alekseev, S.N., "On Calculation of Resistance in Pipes of Concrete Pumps," 1952 (en Ruso, traducido como *Library Communication No. 450* por el Building Research Station, Garston, 1963).
48. Dawson, O., "Pumping Concrete-Friction Between Concrete and Pipeline," *Magazine of Concrete Research* (London), V. 1, No. 3, Dic. 1949, pp. 135-140.
49. Weger, R., "Transport of Concrete by Pipeline," *C y CA Library Translation No. 129*, Cement and Concrete Association, London, 1967, 90 pp.
50. Lipovetskii, M.A., "The Composition of Concrete Mixes Transported by Pumping," *Stroitel'naya Promyshlennost*, V. 28, No. 12, 1950, pp. 11-12, (en Ruso). También resumido en *Building Science Abstracts*, V. 23, No. 12, 1951, y traducido como *Library Communication No. 592* por el Building Research Station, Garston, 1950.
51. Troxell, George E., and Davis, Herbert E., *Composition and Properties of Concretes*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1956, 434 pp.
52. Blanks, Robert F., and Kennedy, Henry L., *The Technology of Cement and Concrete*, V. 1, *Concrete Materials*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1955, 422 pp.
53. *Design and Control of Concrete Mixtures*, Portland Cement Association, Eleventh Edition, Julio 1968, 121 pp.
54. Kempster, E., "Pumpable Concrete," *Current Paper 29/69*, *Building Research Station*, Garston, Agosto 1969, 8 pp.
55. Gray, J.E., "Laboratory Procedure for Comparing Pumpability of Concrete Mixtures," *Proceedings, ASTM*, V. 62, pp. 964-971.
56. Gray, J.E. and Bell, J.E., "Stone Sand," *Engineering Bulletin No. 13*, National Crushed Stone Association, Washington, D.C., 1964, 70 pp.
57. *Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-69)*, American Concrete Institute, Detroit, 1969, 18 pp.
58. ACI Committee 621, "Selection and Use of Aggregates for Concrete," *ACI Journal*, *Proceedings V. 58*, No. 5, Nov. 1961, pp. 513-542. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
59. Burgess, Gerald T., "Pumping Breakthrough," *Concrete Construction*, V. 14, No. 2, Feb. 1969, pp. 41-46.
60. *Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete (ACI 214-65)*, American Concrete Institute, Detroit, 1965, 29 pp. También *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
61. ACI Committee 201, "Durability of Concrete in Service," *ACI Journal*, *Proceedings*, V. 59, No. 12, Dic. 1962, pp. 1771-1820. También *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
62. Tuthill, Lewis H., "Tunnel Lining with Pumped Concrete," *ACI Journal*, *Proceedings V. 68*, No. 4, Abril 1971 pp. 252-262.
63. Tynes, W.O., "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete," *Technical Report No. 6-518*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Julio 1959, 19 pp.
64. Tynes, W.O., "Investigation of Methods of Preparing Horizontal Construction Joints in Concrete-Report 2, Test of Joints of Large Blocks," *Technical Report No. 6-518*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Julio 1963, 19 pp.
65. ACI Committee 302, *Proposed ACI Standard Recommended Practice for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302-69)*, American Concrete Institute, Detroit, 1969, 30 pp. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
66. "Recommended Guide Specifications for Batching Equipment and Control Systems in Concrete Batch Plants" *Publication No. 102*, Concrete Plant Manufacturers Bureau, Silver Spring, Maryland, 1971, 11 pp.
67. ACI Committee 304, "Preplaced Aggregate for Structural and Mass Concrete," *ACI Journal*, *Proceedings V. 66*, No. 10, Oct., 1969, pp. 785-797. También, *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1*.
68. ACI Committee 304, "Placing Concrete by Pumping Methods," *ACI Journal*, Pro-

- ceedings V. 68, No. 5, Mayo 1971, pp. 327-345.
69. ACI Committee 207, "Mass Concrete for Dams and Other Structures," *ACI Journal*, *Proceedings V. 67*, No. 4, Abril 1970, pp. 273-309.
70. Fowler, E.L., and Holmgren, E.F., "Expansion of Concrete Pumped Through Aluminum Pipeline," *ACI Journal*, *Proceedings V. 68*, No. 12, Dic., 1971, pp. 950-958.
71. Merricks, G.A., and Thompson, M.H., "Shaft Sinking at Free State Saisiplas" *South African Institute of Mining and Metallurgy Journal*, Junio 1958, pp. 547-553.

COMENTARIOS

Este comentario se presenta para señalar algunas de las diferencias más importantes entre la revisión propuesta de esta norma y la vigente actualmente, ACI 614-59.

El material contenido en la norma actual ha sido revisado donde se consideró deseable y se agregaron nuevos capítulos sobre transportación, agregados precolocados, bombeo y concreto "tremie" (tubo-embudo).

La mayoría de los principios básicos señalados en la norma ACI 614-59, son tan importantes ahora como lo fueron cuando se publicaron, y aun se incluyen en esta revisión propuesta.

La filosofía usada en la norma ACI 614-59 es tan importante y relevante hoy en día como lo fue cuando esta norma se preparó, por ejemplo: 1) que solamente buenas especificaciones serían recomendadas, y 2) que la necesidad de estas normas debería significar un complemento del uso de especificaciones efectivas y de una inspección basada en el establecimiento de autoridada. El hecho de que muchas de las recomendaciones originales presentadas en la norma ACI 614-59 aún se conserven en esta práctica recomendada revisada, es buena evidencia de lo que el trabajo original fue, porque la filosofía básica sirvió muy bien para su propósito.

La discusión general de las revisiones propuestas, tal como aparecen en cada capítulo, es como sigue:

Capítulo 1. Introducción

Contenido general, alcance, objetivos, y mención de los nuevos temas que serán tratados.

Capítulo 2. Control de materiales, manejo y almacenamiento

La norma ACI 614-59 tiene solamente un capítulo sobre manejo de agregados. La revisión propuesta incluye todos los ingredientes usados en el concreto, tales como agregados, cementos, puzolanas, aditivos y agua.

Capítulo 3. Medición

Este capítulo actualiza las descripciones del equipo de medición usado para todos los ingredientes del concreto, además de información sobre tolerancias y comportamiento que debe encontrarse en los equipos.

MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

Capítulo 4. Mezclado

En los capítulos 4 y 5 se ha dividido la descripción de los tipos de equipo actual para el mezclado, ampliando su uso y recomendaciones sobre camiones revolventes.

Capítulo 5. Transporte del concreto

Un capítulo nuevo completo se ha agregado cubriendo el propósito, uso y operación del equipo para transporte del concreto desde la mezcladora, al lugar de colocación en la estructura.

Capítulo 6. Colocación del concreto

La descripción del equipo usado para la colocación del concreto se ha ampliado, añadiéndose una sección nueva sobre bandas transportadoras e incluyendo material nuevo sobre colocación de concreto masivo.

Capítulo 7. Concreto con agregado precolocado

Un nuevo capítulo sobre este método de construcción con concreto, que no figura en la norma ACI 614-59, se incluye ahora. El comité 304 publicó previamente un informe sobre este tema (ver referencia 67).

Capítulo 8. Concreto "tremie" (tubo-embudo)

Se ha incluido un nuevo capítulo sobre la colocación de concreto bajo el agua mediante este método.

Capítulo 9. Concreto bombeado

Un nuevo capítulo ha sido incluido, sobre el método rápidamente conocido para transporte y colocación de concreto bombeado. Este capítulo contiene material del reporte reciente 'State-of-the-Art' del comité 304 (ver referencia 68).

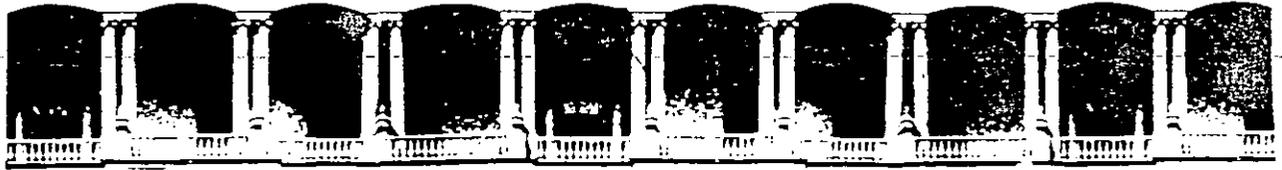
Capítulo 10. Cimbras, limpieza, acabados

Se incluye un capítulo nuevo, corroborando la discusión sobre temas esenciales, frecuentemente descuidados, referentes a la obtención de un trabajo satisfactorio, tal como cimbras, limpieza y acabado.

Capítulo 11. Fuentes de información

Este capítulo reúne fuentes de información importante sobre los temas tratados en esta norma propuesta revisada.

Este reporte fue sometido a votación por carta a los 22 miembros que forman el comité, las 13 contestaciones recibidas fueron todas afirmativas.



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO

Del 14 al 25 de noviembre de.1994

D I S E Ñ O

EXPOSITOR: ING. MARIO TENA BERNAL

1 9 9 4

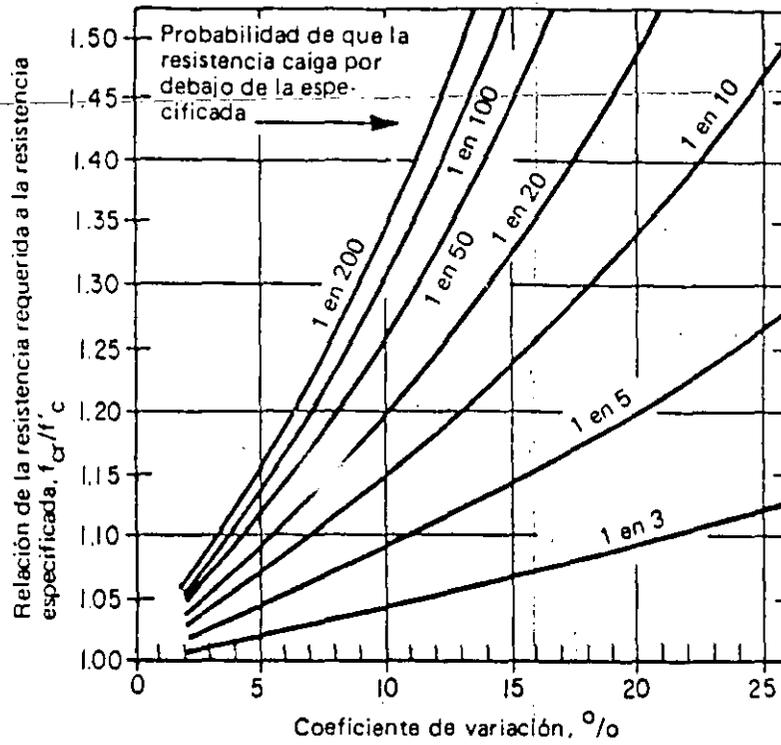


Fig. 4.1 (a).— Relación de la resistencia promedio requerida f_{cr} a la resistencia especificada f'_c para varios coeficientes de variación y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

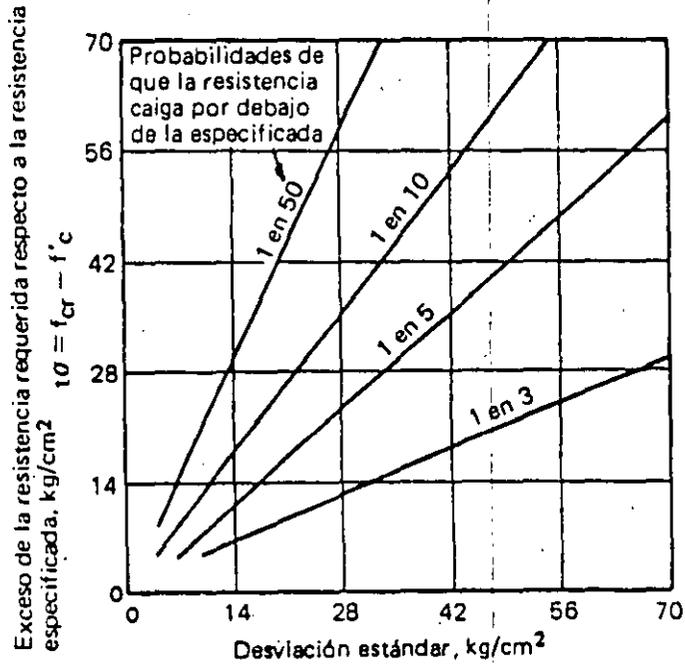


Fig. 4.1 (b).— Exceso de la resistencia promedio requerida f_{cr} respecto a la resistencia especificada f'_c para varias desviaciones estándar y probabilidades de que caigan por debajo de la resistencia especificada

TABLA 5.3.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

<i>Tipos de construcción</i>	<i>Revenimiento, cm</i>	
	<i>Máximo*</i>	<i>Mínimo</i>
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	8	2
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

* Pueden incrementarse en 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

TABLA 5.3.4 (a) Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto

<i>Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm²*</i>	<i>Relación agua/cemento por peso</i>	
	<i>Concreto sin aire incluido</i>	<i>Concreto con aire incluido</i>
420	0.41	—
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

* Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no contiene más del porcentaje de aire que se indica en la tabla 5.3.3. Para una relación agua/cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

La resistencia se basa en cilindros de 15 x 30 cm, curados con humedad a los 28 días, a $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$, de acuerdo con la sección 9 (b) de la norma ASTM C31.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de 3/4 a 1"; para un banco dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento dada se incrementará conforme se reduce el tamaño máximo de agregado. Consúltense las secciones 3.4 y 5.3.2.

TABLA 5.3.4 (b) Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas*

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo †</i>	<i>Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos</i>
Secciones esbeltas (barandales, guarniciones, umbrales, ménsulas, trabajos ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero de refuerzo	0.45	0.40 ‡
Todas las demás estructuras	0.50	0.45 ‡

* Basado en el informe del Comité ACI 201, "Durability of Concrete in Service", previamente citado.

† El concreto también debe tener aire incluido.

‡ Si se emplea cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de la norma ASTM C150), la relación agua/cemento permisible puede incrementarse en 0.05.

TABLA 5.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximo nominales de agregado

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado, mm							
	10*	12.5*	20*	25*	40*	50†*	70†‡	150†‡
	Concreto sin aire incluido							
de 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
de 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
de 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Concreto con aire incluido							
de 3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
de 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
de 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	—
Promedio recomendado** del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición:								
Exposición ligera	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***††
Exposición severa †‡	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***††	4.0***††

- * Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptadas.
- † Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de 40 mm, mediante tamizado húmedo.
- ‡ Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento para mezclas de prueba, cuando se utilizan agregados de tamaño máximo nominal de 70 ó 150 mm. Son promedios para agregados gruesos razonablemente bien formados y con buena granulometría de grueso a fino.
- ** En varios documentos del ACI aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para control en el campo. Entre estos documentos están: ACI 201, 345, 318, 301 y 302. La norma ASTM C94 para concretos premezclados también proporciona los límites de contenido de aire. Los requerimientos que aparecen en otros documentos no siempre pueden concordar exactamente, por lo que al proporcionar concreto debe prestarse atención a la selección de un contenido de aire que se ajuste a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.
- *** Para concretos que contienen agregados grandes que serán tamizados en húmedo a través de una malla de 1 1/2 pulgadas antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material de tamaño inferior a 40 mm debe ser como el tabulado en la columna de 40 mm. Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje del total.
- †† Cuando se emplea agregado grande en concretos con bajo factor de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la relación agua/cemento y, de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de aire. Generalmente, sin embargo, para dichos tamaños máximos grandes de agregado los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa deben tomarse en consideración aunque pueda haber poca o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.
- †‡ Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen del mortero va a ser substancialmente diferente del determinado en esta obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando un 9% del volumen real del mortero.

TABLA 5.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

<i>Tamaño máximo de agregado, mm</i>	<i>Volumen de agregado grueso * varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena</i>			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10 (3/8'')	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2'')	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4'')	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1'')	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (1 1/2'')	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2'')	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3'')	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6'')	0.87	0.85	0.83	0.81

* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, pueden incrementarse en un 10% aproximadamente. Para concretos más trabajables, véase la sección 5.3.6.1.



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

CURSOS ABIERTOS

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO
Del 14 al 25 de noviembre de 1994.

**CARACTERISTICAS DE MATERIAS PRIMAS
AGREGADOS PARA CONCRETO**

EXPOSITOR: ING. JORGE DAVIDA RAMIREZ



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

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

TEMA: CARACTERISTICAS DE MATERIAS PRIMAS.

SUBTEMA: AGREGADOS PARA CONCRETO.

OBJETIVO: PRESENTAR EL CONOCIMIENTO BASICO DE LAS CARACTERISTICAS
Y PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS, PARA EMPLEARLAS EN LA
SELECCION Y APLICACION ADECUADA EN LA PRODUCCION DE
CONCRETO HIDRAULICO.

JORGE DAVILA RAMIREZ.

COMITE TECNICO AMIC.

AGREGADOS

OTROS NOMBRES: ARIDOS O AGLOMERANTES.

CLASIFICACION: EN DOS TIPOS COMUNES

- FINOS: Arenas
- GRUESOS: Grasas, escorias de altos hornos, escorias volcánicas, tabique triturado, arcillas expandidas, aire en grandes proporciones, etc.

CANTIDAD EN LA QUE INTERVIENEN EN EL CONCRETO:

- EN PESO: Aproximadamente 75%
- EN VOLUMEN: Aproximadamente 70% (Ver Anexo Num. 2)

El costo de los agregados por lo general es considerablemente menor al del cemento, por lo que también de manera general no se les considera como ingredientes de primera importancia en el concreto y se pasa por alto la grán influencia que tienen en la obtención de concretos de buena calidad y en las características que de éstos pueden obtenerse.

En México, la norma que regula el uso de los agregados es la NOM-C-111.

LAS PRUEBAS O DETERMINACIONES QUE DE MANERA POCO FRECUENTE SE ESPECIFICAN O QUE MARCAN LIMITES QUE DEBAN CUMPLIR LOS AGREGADOS PARA CONCRETO, SON:

10. RIGIDEZ
11. RESISTENCIA A LA COMPRESION
12. MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACION DE POISSON
13. FORMA DE LA PARTICULA
14. TEXTURA SUPERFICIAL
15. POROSIDAD
16. ESTRUCTURA DE LOS POROS
17. PERMEABILIDAD
18. CALOR ESPECIFICO
19. DIFUSIBILIDAD TERMICA
20. COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA

Determinar las propiedades que se derivan de éstas pruebas requiere del uso de equipos poco comunes y de la aplicación de técnicas de ensaye muy elaboradas, ejecutadas por personal muy bien capacitado.

De todos los métodos de prueba con que se determinan las propiedades de los agregados, algunos tienen el propósito de verificar el cumplimiento con alguna especificación y otros, para conocer las propiedades que por no existir algún acuerdo generalizado que les marque límites, pero que se considera dan orientación sobre el comportamiento que tendrán en el concreto.

La identificación de las propiedades características de los agregados, que influyen en el concreto como se muestra en el Anexo Num.3, está sujeta a determinaciones directas o indirectas de laboratorio.

LAS PRUEBAS O PROPIEDADES QUE CON MAYOR FRECUENCIA SE DETERMINAN EN LOS AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRAULICO SON EN NUESTRO PAIS:

1. GRANULOMETRIA
2. GRAVEDAD ESPECIFICA
3. PESO UNITARIO
4. ABSORCION
5. HUMEDAD SUPERFICIAL
6. SOLIDEZ O SANIDAD
7. RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA ABRASION
8. LIMPIEZA O CONTAMINACION Y SUSTANCIAS DELETEREAS
9. DUREZA DEL AGREGADO GRUESO

En su mayoría coinciden con las que el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE recomienda para el control sistemático de la calidad de los agregados. El equipo con que se ejecutan pueda obtenerse con facilidad relativa.

La identificación del tipo de roca al que pertenece un agregado, de la formación geológica en que se presenta y de los problemas que puede tener su utilización, requiere de técnicas más o menos complicadas.

- La más simple consiste en un examen visual, con una lupa
- Normalmente se usan microscopios Estereoscópios o Petrográficos
- Pueden aplicarse técnicas tan complejas como Distracción de Rayos X
- Lo más práctico es hacerlo examinar por un Geólogo.

EL ESTUDIO PETROGRAFICO GENERALMENTE CUBRE:

- 1) La identificación del material y de sus componentes
- 2) Una recomendación sobre su posible comportamiento, basada en los antecedentes del que se ha observado en materiales similares ó, en consideraciones puramente teóricas.

Los antecedentes de comportamiento de materiales similares en apariencia, no necesariamente constituyen índices confiables del comportamiento de algún material, salvo cuando se restringen a la misma area geológica. Los análisis petrográficos solo constituyen un buen índice y la mejor referencia del posible comportamiento es o puede basarse en la experiencia de su uso.

Cuando es posible hacer análisis petrográficos, se obtiene información valiosa relativa a la presencia de componentes potencialmente capaces de provocar desintegración por reactividad alcalina o por la presencia de arcilla expansiva, así como de la textura y estructura.

EL REQUERIMIENTO MAS IMPORTANTE QUE PUEDE EXIGIRSE DE UN AGREGADO PARA CONCRETO ES:

QUE SEA DURABLE Y QUIMICAMENTE INERTE EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO A QUE ESTARA EXPUESTO.

La reactividad potencial de un agregado de características físicas aceptables, puede volverse inofensiva utilizando cemento con bajos contenidos de alcalis o sustituyendo una parte del cemento en el concreto por un tipo específico de puzolana.

En nuestro país, es poco común efectuar análisis petrográficos, ya que se requiere de laboratorios bien equipados, que solamente las grandes instituciones pueden mantener.

En la práctica común, la selección de agregados se basa en la observación de su comportamiento en las pruebas de laboratorio que se efectúan para determinar las resistencias a compresión y flexión de los concretos que con ellos se elaboran; así como en las pruebas que se conocen como de SANIDAD.

LOS DOS PROCESOS BASICOS PARA OBTENCION DE AGREGADOS SON:

- CRIBADO y
- TRITURACION

El más simple es el de clasificación por cribado. Normalmente en nuestro país se efectúa en seco.

La trituración se hace para reducir trozos de roca, escoria volcánica, escoria de altos hornos o gravas de tamaños mayores al requerido y obtener una distribución granulométrica deseada. En cualquier proceso de trituración se corre el riesgo de que las partículas se produzcan en formas angulosas, alargadas ó planas, poco deseables para la elaboración del concreto.

La producción de agregados puede, efectuando los dos procesos, cribado y trituración para unirlos en una mezcla, lograr que se obtengan agregados de calidad excelente.

En algunos casos, durante la producción de agregados, ya sea por cribado o por trituración, se hace necesario aplicar agua durante el proceso; para separar partículas que pueden presentarse en exceso y estar adheridas a los tamaños mayores.

Comúnmente se afirma que la forma de las partículas de los agregados triturados depende del equipo de trituración empleado para procesarlo; la experiencia indica que esto no puede considerarse como una regla general. Un mismo equipo de trituración puede producir partículas de forma "aceptable" con un tipo de roca e inaceptable con otro.

EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN-PRODUCCIÓN Y MANEJO DE LOS AGREGADOS DEBE TENERSE EN CUENTA QUE HAY QUE EVITAR LA ALTERACIÓN CONSIDERABLE DE CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES COMO SON:

- GRANULOMETRIA
- CONTENIDO DE HUMEDAD
- LIMPIEZA
- FORMA DE LAS PARTICULAS (Ver Anexo 4)

Puede decirse de manera general, que los agregados de buena calidad son, los que tienen partículas libres de fracturas, que no se desgastan fácilmente, que están bien graduados y que su forma no es plana ni alargada; que no se fracturan al humedecerse, que tienen textura superficial rugosa, que no presenten capilaridad desfavorable y que además no contengan minerales que interfieran con el proceso de hidratación del concreto o reaccionen con el cemento causando expansión.

MUESTRAS DE LOS AGREGADOS PARA PRODUCIR CONCRETO.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-30 y NOM-C-170)

El reconocimiento de las propiedades características de los agregados para concreto se realiza comúnmente en dos etapas:

- 1/a Para identificar las características geológicas, al inicio de la explotación de un yacimiento (Banco).
- 2/a Para controlar los procesos de producción, durante la explotación del yacimiento.

Esto se cubre con la obtención de muestras representativas de los agregados que pretenden emplearse y se reducen a los tamaños suficientes para efectuar la determinación de las características, de acuerdo a las especificaciones de las normas aplicables.

Las especificaciones de las normas que marcan la forma de obtener y reducir las muestras a los tamaños que cada una de las determinaciones útiles para verificar las características que de los agregados se suponen y que, son necesarias para el diseño de las mezclas de concreto que deban elaborarse cumpliendo también con requisitos normalizados, marcan por lo general las cantidades mínimas adecuadas.

Cualquier muestra más grande que las especificadas, bien tomada, puede ser más representativa del material a probar.

CONDICIONES DE HUMEDAD EN LOS AGREGADOS:

Para conocer algunas de sus características o para manejarlos de manera adecuada en la producción de concreto, hay que conocer las cuatro condiciones de humedad en que pueden estar:

1. SECADOS EN HORNO.- Completamente secos y totalmente absorbentes.
2. SECADOS EN EL AIRE.- Secos en la superficie, con alguna cantidad de humedad interior menor a la que se requiere para saturar las partículas que los integran. En esta condición son algo absorbentes.
3. SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SECOS.- En esta condición, ni aportan ni absorben agua del concreto. Una condición ideal.
4. HUMEDOS O MOJADOS.- La superficie de las partículas presenta humedad en exceso.

Las condiciones descritas en 1. y 3., son útiles en el laboratorio para la determinación de las características de los agregados; siendo difícil que se presenten en la producción normal de concreto.

Las condiciones descritas en 2. y 3., son las que comunmente presentan los agregados. Su conocimiento y control favorecen la producción de mezclas, minimizando variables.

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-77 y NOM-C-111)

La determinación se hace con juegos de mallas normalizadas que tienen orificios de diferentes dimensiones, para conocer las cantidades de agregado que se retiene o que pasa en cada malla empleada. Con esto se elabora una CURVA GRANULO METRICA.

MALLAS PARA AGREGADOS GRUESOS:

3", 2", 1½", 3/4", ½", 3/8", Num 4 y en algunas ocasiones, la Num 8, debajo de las cuales se coloca una charola.

MALLAS PARA AGREGADOS FINOS:

3/8", Nums. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y en algunos casos la Num 200, debajo de las cuales se coloca una charola. (Ver Anexo 5)

El tejido de las mallas normalizadas en nuestro país, es cuadrado. En algunos países se utilizan tamices con orificios redondos denominados PASADORES.

El cribado de materiales por las mallas se hace agitando manual o mecánicamente.

La determinación de la composición granulométrica de los agregados, es el primer trabajo que los tecnólogos del concreto requieren, ya que es muy útil en el diseño y obtención de las mejores mezclas de concreto, aplicables a trabajos específicos.

Las granulometrías se efectúan con materiales secados al horno.

EJEMPLO TIPICO DE GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO.

Malla	Peso Retenido en Kg.	Retenido en %	Retenido Acumulado en %	% que pasa	% que debe pasar
1½"	0.210	0.73	1	99	95-100
1"	6.710	23.50	24	76	
¾"	5.500	19.29	43	57	35- 70
½"	6.050	21.22	64	36	
3/8"	3.700	12.98	77	23	10- 30
Num 4	5.150	18.06	95	5	0- 5
charola	1.190	4.17	100	0	
TOTAL	28.510	99.95			

Este agregado puede clasificarse como de T.M.N. 1½" (Ver Anexo 6)

Los porcentajes marcados en la columna % que debe pasar, configuran al colocarlos en forma gráfica, lo que tradicionalmente se ha denominado **LIMITES GRANULOMETRICOS** (inferior y superior). (Ver Anexo 15)

Quando al analizar la granulometría de un agregado, su grafica queda dentro de los límites y sigue la tendencia de los mismos, puede utilizarse sin problemas para producir concretos de buena manejabilidad.

Si el análisis muestra que queda fuera de esos límites, al emplearlo para fabricar concreto se deben tener cuidados especiales.

DENSIDAD o GRAVEDAD ESPECIFICA.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-164 y 165).

De manera simple, la densidad se considera como la relación que exista entre el peso del volumen solido de una material y el peso de un volumen igual de agua.

$$\text{DENSIDAD} = \frac{B}{B - C}$$

B = Peso de una muestra saturada y superficialmente seca en el aire.

C = Peso de la misma muestra saturada y superficialmente seca en el agua.

Para agregados gruesos es común aplicar este procedimiento utilizando una "canasta de densidad", de malla de alambre en la que primero se pesa la muestra de material suspendida en el aire y luego suspendidas en agua. La diferencia en peso es igual al peso del agua desalojada.

Para agregados finos se utilizan picnómetros. La canasta no es aplicable a tamaños de agregado con granos pequeños.

UN PICNOMETRO PUEDE SER CUALQUIER FRASCO O RECIPIENTE EN EL QUE PUEDA REPRODUCIRSE EL VOLUMEN CONTENIDO, CON UNA APROXIMACION DE 0.1 cm^3 .

UN PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DENSIDAD.

Una muestra de 500 g de material saturado y superficialmente seco se introduce en un frasco que tenga una marca de referencia para un volúmen superior al que se pretende medir, se agrega agua hasta el 90% de la capacidad de la marca y se agita para eliminar el aire que queda atrapado; después se llena con agua hasta la marca de referencia y se determina su peso. Este se relaciona con el del mismo frasco lleno con agua hasta la marca de referencia:

$$\text{DENSIDAD} = \frac{500 \text{ g}}{B + 500 - C}$$

B = Peso del picnómetro llenado con agua hasta la marca de referencia.

C = Peso del picnómetro con la muestra saturada y superficialmente seca mas agua hasta la marca de referencia.

La obtención de la densidad de los agregados relacionando el peso de las muestras saturadas y superficialmente secas, con el volúmen del agua que desplazan, puede hacerse con canastas de densidades, picnómetros de frasco o de sifón o probetas.

La densidad de cada material es característica y sirve para estimar el volúmen que aportarán al elaborar el concreto. (Ver Anexo 10).

PESO VOLUMETRICO COMPACTADO SECO Y PORCENTAJE DE VACIOS.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-73 y NOM-C-158)

De manera simplificada, para determinarlo se llena un recipiente calibrado de forma redonda, con diámetro aproximadamente igual a la altura, en capas de una tercera parte de su altura que se compactan con 25 penetraciones de una varilla sobre su superficie; la tercera capa se enrasa tanto como sea posible con el borde del recipiente. Después de esto, se determina el peso neto del agregado que contiene y dividiendolo entre el volúmen calibrado se obtiene el Peso Volumétrico Compactado Seco.

Con el P.V.C.S. y la Densidad o Peso Solido del agregado la cantidad de su volúmen por unidad de volúmen y con el recíproco la cantidad de vacios.

Algunos métodos de diseño de mezclas de concreto no contemplan como muy necesaria la determinación de la granulometría del agregado grueso y la piden fundamentalmente para identificar el tamaño máximo, especialmente cuando al producirlo se mantiene dentro de los límites considerados en las normas. En cambio, la determinación del peso volumétrico compactado seco, se considera como criterio importante para el diseño.

EJEMPLO:

Un recipiente con capacidad calibrada de 13.995 l, que tiene un peso tarado de 6.505 kg, al llenarse con un agregado determinado siguiendo el procedimiento especificado, alcanza un peso total de 30.548 kg.

El peso neto del agregado es entonces $(30.548 - 6.505) \text{ kg} = 24.043 \text{ kg}$, que al dividirlo entre el volúmen que ocupa se tiene:

$$\frac{24.043 \text{ kg}}{13.995 \text{ l}} = 1.717 \text{ kg/l (P.V.C.S.)}$$

Si su densidad (peso por litro en volúmen absoluto es de 2.540 kg, el volúmen de agregado grueso por unidad de volúmen sera:

$$\frac{1.717 \text{ kg/l}}{2.540 \text{ kg/l}} = 0.67 \quad (\text{litros por cada litro})$$

y el porcentaje de vacíos de $(1.0 - 0.67) = 0.33$ (litros por litro).

Esto quiere decir que en un metro cúbico de este agregado en condición compactada, se tiene 67% de volúmen sólido y por lo tanto, en ese mismo metro cúbico existe un 33% de vacíos.

Este procedimiento para determinar el peso volumétrico compactado seco del agregado grueso es práctico y aceptable cuando el tamaño máximo es hasta de 2 pulgadas.

GRANULOMETRIA Y MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO.

(Referencias: Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-73 y NOM-C-111)

Para estas determinaciones se emplea el juego de mallas descrito con anterioridad, siendo el módulo de finura la suma de los retenidos acumulados de la malla 3/8" a la Num.100 dividida entre 100.

EL MODULO DE FINURA ES:

- a). Un valor empírico que se relaciona en un sentido muy amplio con el área superficial del agregado.
- b). Una relación inversa con relación al área superficial del agregado. Mientras mas bajo sea el valor del módulo de finura mayor será el área de la superficie y por lo tanto, más fino el agregado.
- c). Un valor de importancia para el diseño de mezclas, muy útil para estimar las cantidades del agregado grueso que requieren.
(Ver Anexo 16).

La determinación de la granulometría es útil para comparar el cumplimiento del material analizado con alguna especificación que deba cumplir y el módulo de finura una característica en que se apoyan algunos métodos de diseño para establecer la cantidad de agregado grueso que puede ser empleado en la elaboración de concreto de una manejabilidad deseada.

MUESTRA DE UN ANALISIS GRANULOMETRICO TIPICO Y CALCULO DEL MODULO DE FINURA.

(Ver Anexo 14)

MALLA	PESO RETENIDO g	RETENIDO EN %	ACUMULADO % (ENTEROS)	% QUE PASA	% QUE DEBE (A) PASAR
3/8"	0	0	0	100	100
Num. 4	31.0	4.94	5	95	95 - 100
8	119.3	19.04	24	76	80 - 100
16	122.8	19.60	44	56	50 - 85
30	75.0	11.96	56	44	25 - 60
50	67.3	10.74	67	33	10 - 30
100	70.6	11.26	78	22	2 - 10
200	61.7	9.87	88		
CHAROLA	78.8	12.57 (b)	100		
TOTALES	626.5	99.99		274/100=2.74 (c)	

- (a) Límites marcados tradicionalmente en algunas especificaciones para arenas "sin deficiencias granulométricas".
- (b) Algunas especificaciones locales marcan tolerancias diferentes a las tradicionales, por las características particulares de los agregados finos, que alteran los límites de las tradicionales, como el Reglamento para las construcciones en el Distrito Federal en México que acepta que el material que pasa la malla Num.200 puede ser hasta 15%. (Ver Anexo 17).
- (c) El total de % retenido acumulado hasta la malla Num.100 es 2.74 que dividido entre 100 es igual a 2.74. módulo de finura correspondiente a una arena de granulometría media.

7. Un formato para cálculo de granulometrías de gravas.
8. Gráficas de las granulometrías de 2 muestras de grava de tamaños diferentes.
9. Gráficas de las dos muestras de grava y la resultante de mezclarlas en proporciones definidas a partir de los resultados mostrados en esas gráficas.
10. Tabla que muestra la "clasificación" que comunmente se ha difundido de la densidad de los materiales que más se utilizan para elaborar concreto, en función del tipo de concreto resultante.
11. Un formato para el cálculo de granulometría de arenas.
12. Gráficas de dos muestras de arena con granulometrías de tamaños diferentes.
13. Gráficas de las dos arenas y la granulometría resultante de su mezcla en proporciones determinadas en base a las dos gráficas.
14. Tabla de la clasificación granulométrica de los agregados para concreto, expresando los límites comunmente establecidos para agregados "bien graduados en por ciento de material que pasa por una malla y en por ciento del que se retiene en la misma.
15. Ilustración de los límites granulométricos expresados en 14.
16. Tabla en que se muestra como se clasifica comunmente a las arenas por su MODULO DE FINURA.
17. Tabla que marca los requisitos que en el Distrito Federal se establecen para los agregados, que difieren de los límites establecidos comunmente.
18. Tabla que expresa los límites máximos de contaminación y requisitos de calidad que se aceptan comunmente en los agregados para concreto.
19. Resumen de límites máximos de sustancias nocivas y contaminantes comunmente aceptados.

A N E X O S

1. Resumen de las variables que se presentan en las pruebas de compresión. (ACI).
 - 18 provocadas por las variaciones naturales de los materiales componentes del concreto.
 - 3 por la temperatura de los materiales.
 - 9 por cambios en la proporción en que se dosifican los materiales.
 - 5 por la forma en que se mezclan los ingredientes o materiales.
 - 25 por la forma en que se obtienen las muestras, se moldean los especímenes, se curan, se cabecean y se prueban.
2. Gráfica de las proporciones en que comunmente intervienen los ingredientes en las mezclas de concreto. Varían ligeramente de acuerdo con el propósito con el que se diseña alguna mezcla específica.
3. Gráfica de correlación entre las características de los agregados para concreto y las propiedades del concreto que los contienen.
4. Gráficas ilustrativas de las formas correctas e incorrectas de manejar los agregados para concreto cuando se almacenan.
5. Gráfica ilustrativa de los tamaños de mallas y la secuencia en que se aplican a la determinación de granulometrías de arenas y gravas
6. Tabla de "requerimientos de granulometría" para agregados gruesos, basada en las cantidades que "deben" pasar por cada una de las mallas utilizadas en la determinación.

Se relacionan los tamaños nominales de las mallas que cubren por fracciones, o series completas, así como su designación en algunas especificaciones bajo NUMEROS NOMINALES.

20. Relación de pruebas aplicables a los agregados para concreto, según ASTM.

R E S U M E N

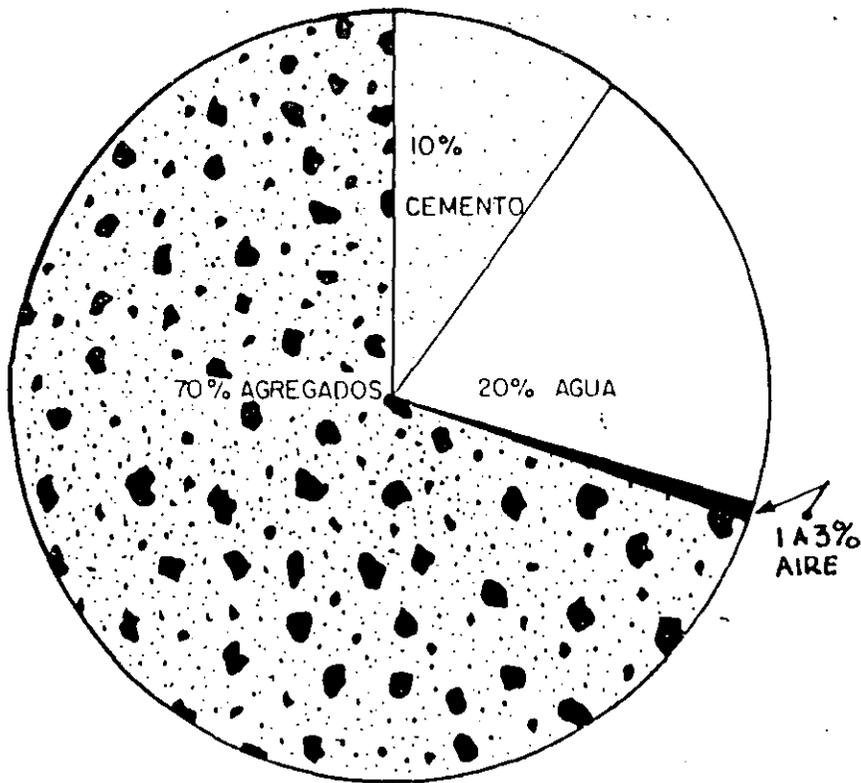
Cuando se seleccionan los agregados para la elaboración del concreto hidráulico, hay que tener presente que:

- En muy pocas ocasiones pueden obtener los agregados ideales.
- El principal problema para la relación de los agregados es, que se tenga bien determinado el nivel de comportamiento requerido para cada caso específico y decidir si cubrirlo es económicamente aceptable.
- Todas las pruebas para evaluar las propiedades de los agregados tienen limitaciones, por lo que, no se puede depender totalmente de sus resultados.
- Los antecedentes del comportamiento de un cierto tipo de agregados en la elaboración de concreto constituye una buena información, si se puede depender de ella y si se interpreta adecuadamente.
- Puede cometerse una grave equivocación al rechazar el uso de algún agregado tomando como base su presencia en algún defectuoso. Las causas que pueden producir que el concreto se deteriore son, muchas y se observa comúnmente que los expertos, con resultados de algún caso específico, tienen opiniones que no son concordantes.

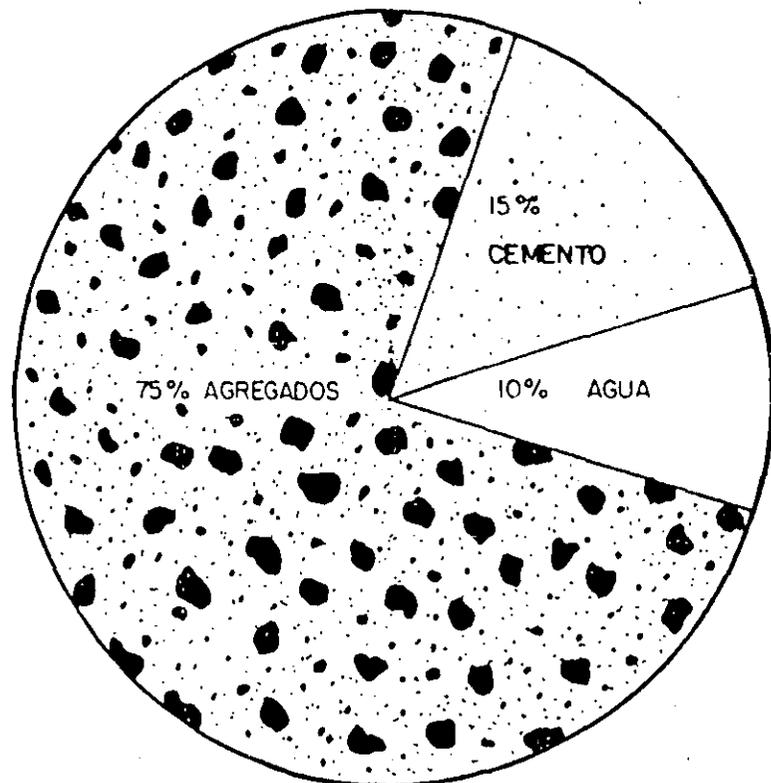
-SUMMARY OF COMPRESSION STRENGTH TEST VARIABLES

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	Incommon	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		
25	Water measurement	Directly added water	Frequent	Errors = 20 percent
26	Water measurement	Contained with sand	Where rely on judgment	Not if measured
27	Water measurement	Sand bulking	Most common	Considerable
28	Water measurement	With coarse aggregate	Volumetric measurement	Can be considerable
29	Sand measurement	Material changes, bulking	Over period	Can be considerable
30	Stone measurement	Material changes, operation	Volumetric measurement	Errors = 20 percent
31	Mixing	Order of charging	Where control limited	Not generally great
32	Mixing	Priming mix	Dependent on operator	Generally unimportant
33	Mixing	Mixer speed	Occasional only	Can be considerable
34	Mixing	Overcharging	With different plants	Not general
35	Mixing	Time of mixing	Infrequent	Not general
36	Handling, sampling	Segregation	Frequent	Variation can exceed 30 percent
37	Handling, sampling	Constituent changes	Chutes, transportation	Planes of weakness
38	Handling, sampling	Sampling	Wherever retemper	Impossible to estimate
39	Handling, sampling	Bleeding	Different locations	Can be appreciable
40	Compaction	Hand tamping	Mixes with water less	Not generally great
41	Compaction	Vibration	Drier mixes	Considerable, exceed 50 percent
42	Compaction	Shock	Over vibration	Segregation in specimens
43	Compaction	Particle orientation	Handling after setting	Damage creates weakness
44	Size and shape	Wet screening	Planes of weakness	Flat particles—40 percent
45	Size and shape	Size of specimen	Mass concrete	Increase with screening
46	Size and shape	Height-diameter ratio	Nonstandard molds	Decrease strength with size
47	Size and shape	Shape	Nonstandard molds	Decrease as ratio increases
48	Size and shape	Mold irregularities	Cube or cylinder	Cube strength greater
49	Curing	Drying out	Nonstandard molds	Nonaxial load
50	Curing	Moist curing	First 24 hours	Not great
51	Curing	Initial temperature	Not job curing	75 percent increase in 10 days
52	Curing	Temperature	Freezing conditions	Infrequent
53	Curing	Age	Job curing in winter	60 percent variation possible
54	Curing	Moisture content	Compare at same age	Continuous increase
55	Capping	Plane ends	When specimens dry	40 percent difference
56	Capping	Capping material	Most common fault	Convexity 30 percent
57	Capping	Axis of specimen	Cement paste difficulty	Convexity 50 percent
58	Testing machine	Bearing block	Technician problem	Plaster of paris—12 percent
59	Testing machine	Centering	Dependent on laboratory	Not generally great
60	Testing machine	Speed of loading	Dependent on laboratory	Can be considerable
				Can be appreciable
				Not generally great

CONTENIDO APROXIMADO POR :



VOLUMEN



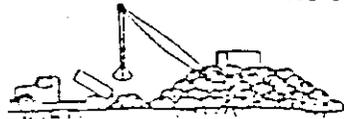
PESO

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

CATEGORÍA	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	CONTRACCIÓN	RESISTENCIA MECÁNICA (COMPRESIÓN Y TENSIÓN)	RESISTENCIA A CONGELACIÓN Y DESHIELO	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	RESISTENCIA A CALENTAMIENTO Y ENFRÍAMIENTO	RESISTENCIA A LA SATURACIÓN Y SECADO	PESO UNITARIO	RELACION AL-CAL-C-Agregado	DURABILIDAD	MÓDULO ELÁSTICO	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	CALOR	ECONOMÍA
		MÁS FRECUENTES	GRANOMETRÍA Y TAMAÑO MÁXIMO	/	/	/				/					
GRAVEDAD ESPECÍFICA								/							
SOLIDEZ										/					
FALTA DE LIMPIEZA	/	/							/						
PRESENCIA DE SILICE									/						
PRESENCIA DE ARCILLA	/		/												
MENOS FRECUENTES	RESISTENCIA MECÁNICA Y DUPEZA		/	/	/										
MÓDULO ELÁSTICO	/						/				/	/			
FORMA DE LAS PARTÍCULAS Y TEXTURA SUPERFICIAL	/	/	/					/							
ESTRUCTURA Y TEXTURA			/												/
GRADO DE SATURACIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS PÓROS			/												
POROSIDAD Y SAHADO			/	/			/								
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA					/						/				
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA												/			
OTROS	CALOR ESPECÍFICO													/	
PROCESAMIENTO REQUERIDO															/
LAVABILIDAD															/

SELECTION AND USE OF AGGREGATES

INCORRECT METHODS OF STOCKPILING AGGREGATES CAUSE SEGREGATION AND BREAKAGE



PREFERABLE

Crane or other means of placing material in pile in units not larger than a truck load which remain where placed and do not run down slopes



OBJECTIONABLE

Methods which permit the aggregate to roll down the slope as it is added to the pile or permit hauling equipment to operate over the same level repeatedly

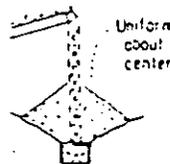


LIMITED ACCEPTABILITY—GENERALLY OBJECTIONABLE

Pile built radially in horizontal layers by bulldozer working from materials as dropped from conveyor belt. A rock loader may be needed in this setup

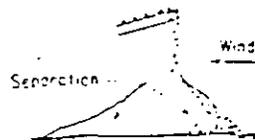
Bulldozer stacking progressive layers on slope not flatter than 3:1. Unless materials strongly resist breakage, these methods are also objectionable

STOCKPILING OF COARSE AGGREGATE WHEN PERMITTED (STOCKPILED AGGREGATE SHOULD BE FINISH SCREENED AT BATCH PLANT WHEN THIS IS DONE NO RESTRICTIONS ON STOCKPILING ARE REQUIRED)



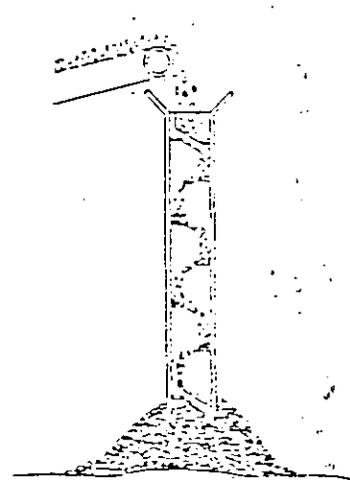
CORRECT

Chimney surrounding material falling from end of conveyor belt to prevent wind from separating fine and coarse material. Chimney provided as required to discharge materials at various elevations on the pile



INCORRECT

Free fall of material from high end of stacker permitting wind to separate fine from coarse material



When stockpiling large sizes aggregates from elevated conveyors, breakage is minimized by use of a rock loader

UNFINISHED OR FINE AGGREGATE STORAGE (DRY MATERIALS)

FINISHED AGGREGATE STORAGE

Fig. 1—Correct and incorrect handling of Aggregates. (Reproduced from ACI 614-59, Reference 78)

.....MALLAS EMPLEADAS EN EL ANALISIS DE AGREGADOS.....

GRAVA

Y

ARENA



3" (75 mm)

4" (4.75 mm)



2" (50 mm)

8 (2.36 mm)



1 1/2" (37.5 mm)

16 (0.8 mm)



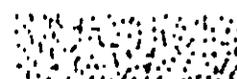
1" (25.0 mm)

30 (0.590 mm)



3/4" (19.0 mm)

50 (0.297 mm)



1/2" (12.5 mm)

100 (0.149 mm)



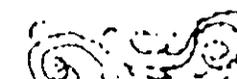
3/8" (9.5 mm)

200 (0.074 mm)



4 (4.75 mm)

Ch.



« REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS GRUESOS »

TAMAÑO NOMINAL (Aberturas cuadradas de las mallas)	NUMERO NOMINAL	CANTIDADES MAS FINAS QUE CADA MALLA DEL LABORATORIO CON ABERTURAS CUADRADAS — % EN PESO										
		4" (100 mm)	3 1/2" (90 mm)	3" (75 mm)	2 1/2" (63 mm)	2" (50 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	No. 4 (4.75 mm)

3 1/2" a 1 1/2" (90 a 37.5 mm)	1	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5				
2 1/2" a 1 1/2" (63 a 37.5 mm)	2			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
2" a 1" (50 a 25 mm)	3				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5				
2" a No. 4 (50 a 4.75 mm)	357				100	95 a 100	35 a 70		10 a 50		0 a 5		
1 1/2" a 3/4" (37.5 a 19 mm)	4				100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
1 1/2" a No. 4 (37.5 a 4.75 mm)	467				100	95 a 100	35 a 70		10 a 50	0 a 5			
1" a 1/2" (25 a 12.5 mm)	5					100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
1" a 3/8" (25 a 9.5 mm)	56					100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
1" a No. 4 (25 a 4.75 mm)	57					100	95 a 100	25 a 60		0 a 10	0 a 5		
3/4" a 3/8" (19 a 9.5 mm)	6						100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
3/4" a No. 4 (19 a 4.75 mm)	67						100	90 a 100	10 a 55	0 a 10	0 a 5		
1/2" a No. 4 (12.5 a 4.75 mm)	7							100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
3/8" a No. 8 (9.5 a 2.35 mm)	8								100	85 a 100	10 a 50	0 a 0	0 a 5

Análisis Granulométricos

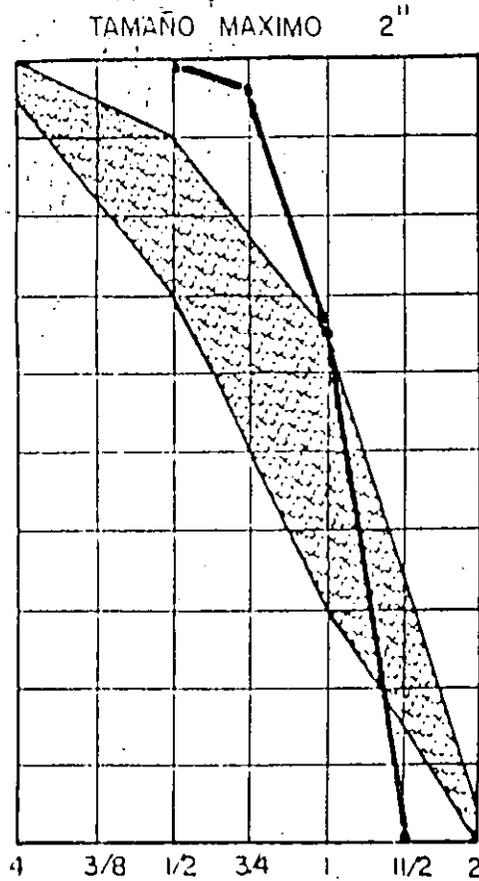
EJEMPLOS

Malla	Peso (kgs.)	Porcientos	% Enteros	% Acum.
3/4"	8.46			
1/2"	23.71			
3/8"	21.51			
Nº 4	120.11			
Charola.	120.11	100.00	100.00	INFRATAMAÑO
Sumas:				

Malla	Peso (kgs.)	Porcientos	% Enteros	% Acum.
1"	67.57			
3/4"	33.88			
1/2"	28.20			
3/8"	0.00			
Nº 4	0.00			
Charola.	0.00			
Sumas:				

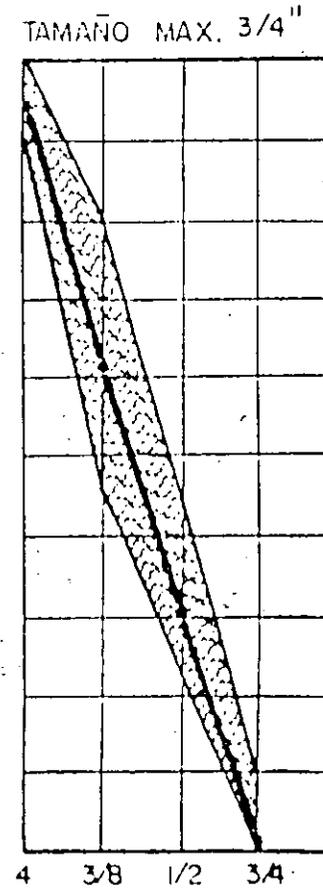
Malla	Peso (kgs.)	Porcientos	% Enteros	% Acum.
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
Nº 4				
Charola.				
Sumas:				

CURVAS GRANULOMETRICAS DE GRAVA



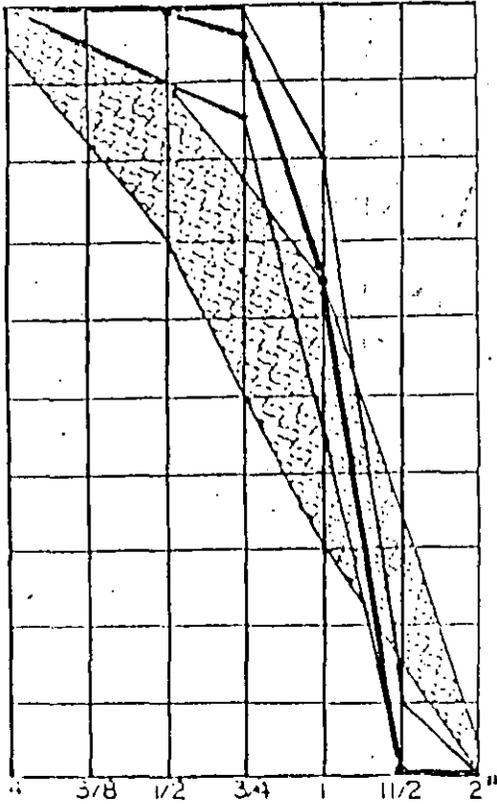
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

% RETENIDO ACUMULADO



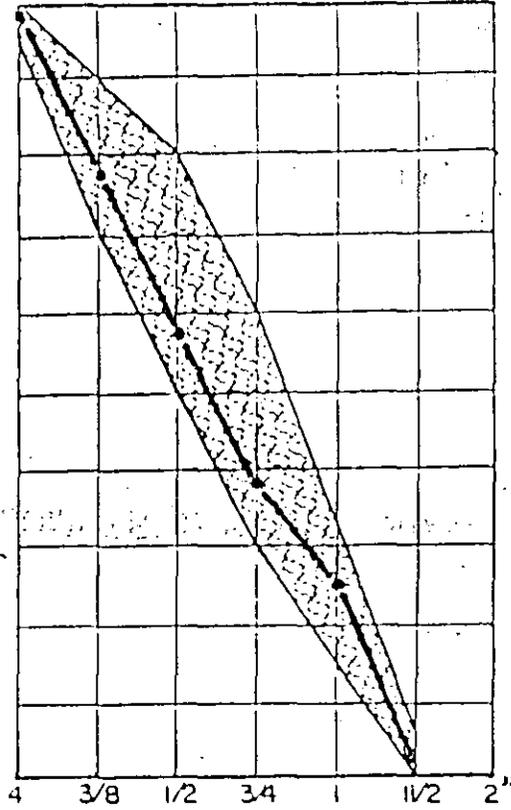
CURVAS GRANULOMETRICAS DE GRAVA

TAMAÑO MAXIMO 2"



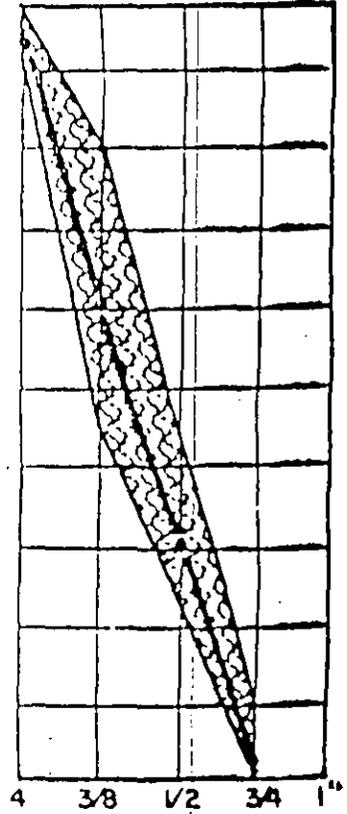
COMBINACION = 40 %

TAMAÑO MAXIMO 1 1/2"



GRANULOMETRIA RESULTANTE

TAMAÑO MAX. 3/4"



COMBINACION = 60 %

« CLASIFICACION DE MATERIALES Y DENSIDAD CARACTERISTICA »

MATERIAL	DENSIDAD	APLICACION
POMEZ ESCORIA VOLCANICA	1.2 — 1.8 1.6 — 2.2	CONCRETO LIGERO
CALIZA ARENISCA CUARZO GRANITO ANDESITA BASALTO	2.3 — 2.8 2.3 — 2.6 2.4 — 2.6 2.4 — 2.7 2.4 — 2.7 2.5 — 2.9	" CONCRETO NORMAL "
LIMONITA BARITA MAGNETITA	3.0 — 3.8 4.0 — 4.5 4.5 — 5.0	CONCRETO PESADO

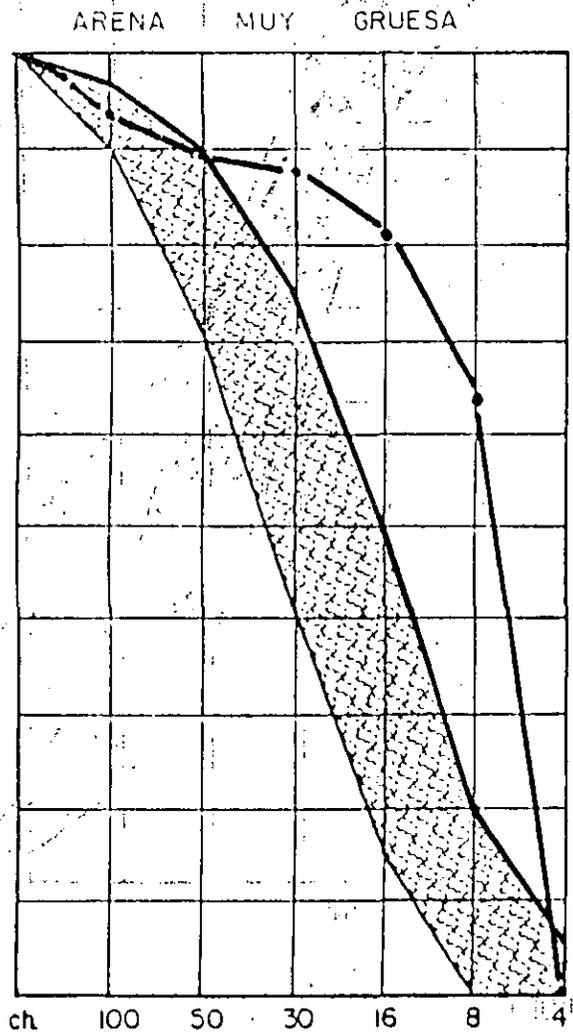
Analisis Granulométricos

MAJLA	PESO (kg)	MATERIAL RETENIDO POR CIENTO EN PESO	PORCENTAJES ENTEROS	PORCENTAJES ACUMULATIVOS
NUM. 4	0.00			
" 8	8.00			
" 16	2.20			
" 30	0.60			
" 50	0.20			
" 100	0.77			
" 200	0.41			
CHAROLA	0.39			
SUMAS				

MAJLA	PESO (kg)	MATERIAL RETENIDO POR CIENTO EN PESO	PORCENTAJES ENTEROS	PORCENTAJES ACUMULATIVOS
NUM. 4	11.4			
" 8	58.4			
" 16	119.5			
" 30	158.7			
" 50	110.0			
" 100	77.7			
" 200	129.4			
CHAROLA	195.6			
SUMAS				

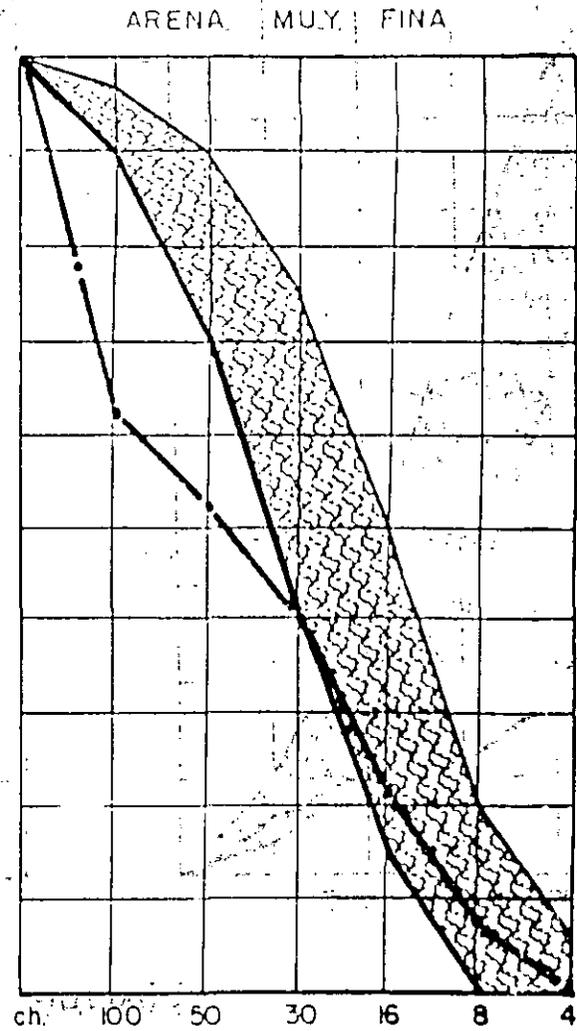
MAJLA	PESO (kg)	MATERIAL RETENIDO POR CIENTO EN PESO	PORCENTAJES ENTEROS	PORCENTAJES ACUMULATIVOS
NUM. 4				
" 8				
" 16				
" 30				
" 50				
" 100				
" 200				
CHAROLA				
SUMAS				

LIMITES GRANULOMETRICOS EN ARENAS



M.F. 4.13

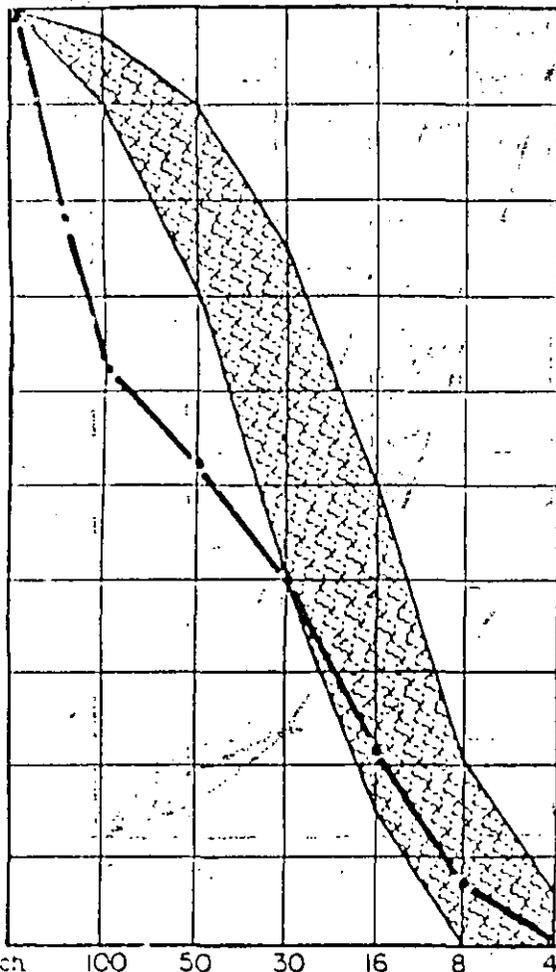
% RETENIDO ACUMULADO



M.F. 1.86

LIMITES GRANULOMETRICOS EN ARENAS

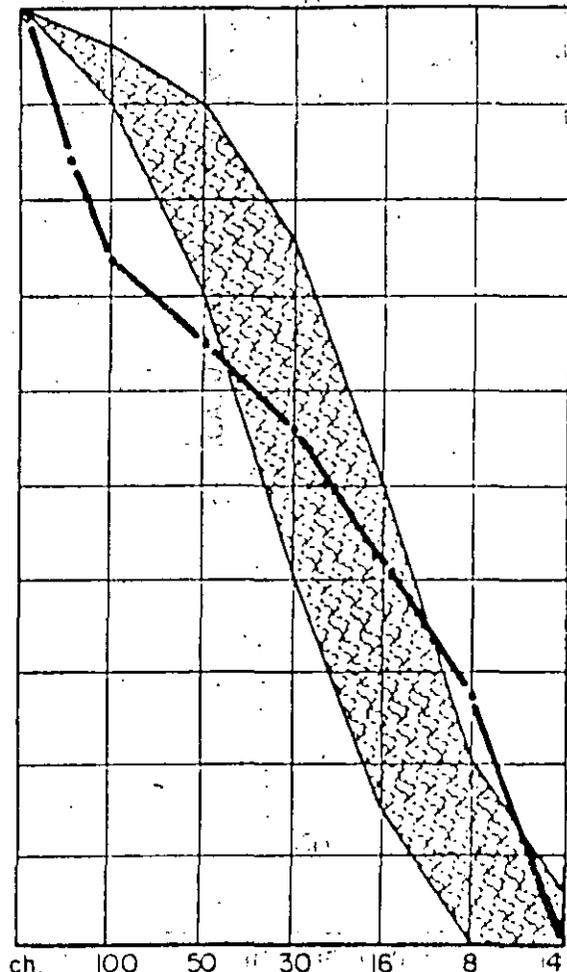
ARENA MUY FINA



M.F. 1.86

COMBINACION = 65%

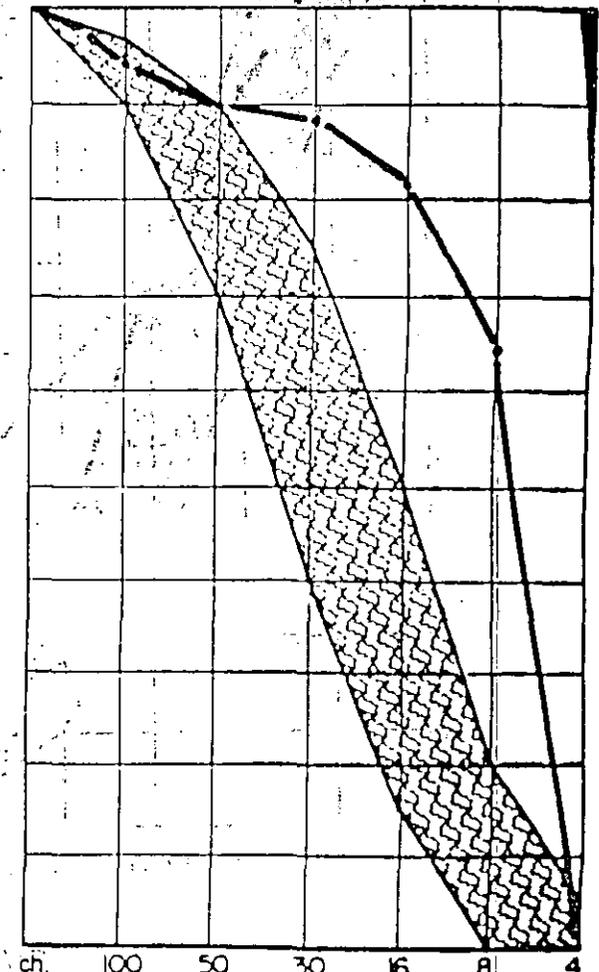
ARENA MEDIO FINA



M.F. 2.63

GRANULOMETRIA RESULTANTE

ARENA MUY GRUESA



M.F. 4.13

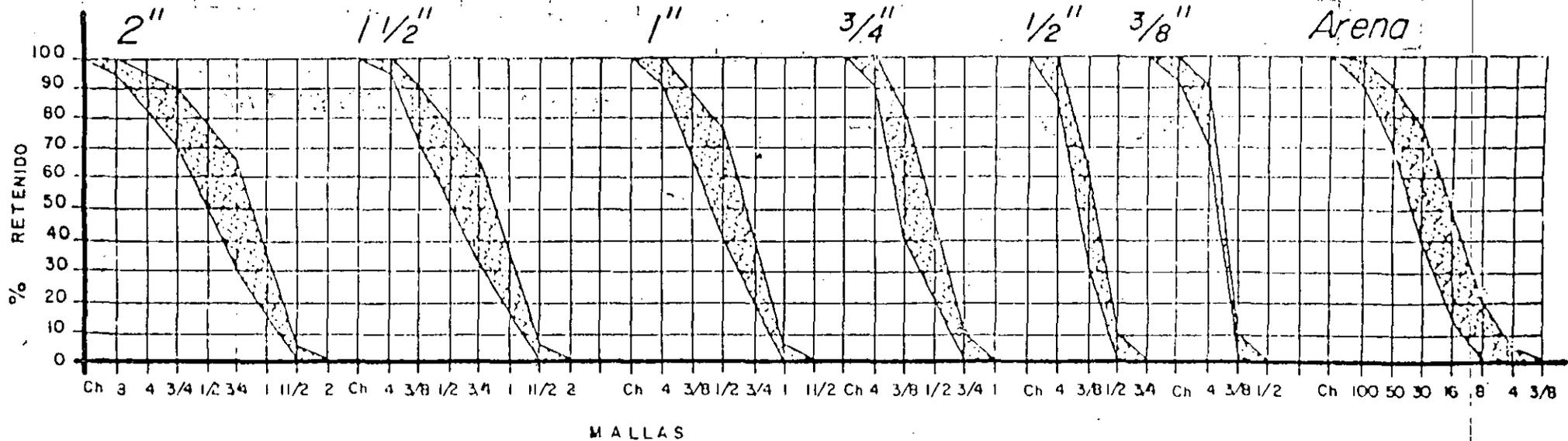
COMBINACION = 35%

« CLASIFICACION GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS »

NUMERO NOMINAL	357	467	57	67	7	8		357	467	57	67	7	8	
TAMANO NOMINAL	2	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	ARENA	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	ARENA

ABERTURAS DE MALLAS	% QUE PASA							% QUE RETIENE								
2"	95 - 100	100						5 - 0	0							
1 1/2"		95 - 100	100						5 - 0	0						
1"	35 - 70		95 - 100	100				65 - 30		5 - 0	0					
3/4"		35 - 70		90 - 100	100				65 - 30		10 - 0	0				
1/2"	10 - 30		25 - 60		90 - 100	100		90 - 70		75 - 40		10 - 0	0			
3/8"		10 - 30		20 - 55	40 - 70	90 - 100	100		90 - 70		80 - 45	60 - 30	10 - 0	0		
No 4	0 - 5	0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 15	10 - 30	95 - 100	100 - 95	100 - 95	100 - 90	100 - 90	100 - 85	90 - 70	5 - 0		
No 8						0 - 10	80 - 100						100 - 90	20 - 0		
No 16							50 - 85							30 - 15		
No 30							25 - 60							75 - 40		
No 50							10 - 30							90 - 70		
No 100							2 - 10							98 - 90		
Ch							0							100		

CURVAS GRANULOMETRICAS DE LOS AGREGADOS DETERMINADAS POR PESO



CLASIFICACION DE ARENA POR MODULO DE FINURA

ARENA	M.	F.
MUY FINA	<	2.0
FINA	2.0	2.3
MEDIO FINA	2.3	2.6
MEDIA	2.6	2.9
MEDIO GRUESA	2.9	3.2
GRUESA	3.2	3.5
MUY GRUESA	>	3.5

EL MODULO DE FINURA EN LA ARENA PARA CONCRETO ESTA COMPRENDIDO ENTRE 2.3 a 3.2, ADEMAS NO DEBE TENER MAS DEL 45% RETENIDO ENTRE 2 MALLAS CONSECUTIVAS.

REQUISITOS PARA AGREGADOS SEGUN NORMAS TECNICAS
COMPLEMENTARIAS DEL D. F.

CONCEPTO	CONCRETO	
	CLASE 1	CLASE 2
COEFICIENTE VOLUMETRICO EN GRAVA	0.20	—
MATERIAL MAS FINO QUE LA CRIBA 200 EN ARENA. (%)	15	15
CONTRACION LINEAL DE LOS FINOS EN ARENA Y GRAVA QUE PASAN LA CRIBA No. 40. (%)	2	3

---- LIMITES MAXIMOS DE CONTAMINACION Y REQUISITOS DE CALIDAD EN AGREGADOS ----

PRUEBAS	ELEMENTOS	TOTAL DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES (%)	PARTICULAS DE SILICE ALTERADA CON ME. MENOR DE 2.4 (%)	PRESENCIA DE LOS CONCRETOS ANTERIORES (%)	MATERIAL MAS FINO QUE LA CRIBA No 200 (%)	CARBON Y LISIHO (%)	PERDIDA POR ABRASION (%)	PERDIDA DE SANIDAD CON SULFATO DE SODIO EN 5 CICLOS (%)
NO EXPUESTOS A INTEMPERIE	ZAPATAS, COLUMNAS, VIGAS, PISOS INTERIORES CON RECUBRIMIENTO	10.0	—	—	2.0	1.0	50.0	—
NO EXPUESTOS A INTEMPERIE	PISOS INTERIORES SIN RECUBRIMIENTO	5.0	—	—	2.0	1.0	50.0	—
EXPUESTOS A INTEMPERIE	VIGAS, MUELLES, PILAS, MURCS DE RETENCION	5.0	6.0	6.0	2.0	0.5	50.0	12.0
EXPOSICION FRECUENTE DE HUMEDAD	PAVIMENTOS, PUENTES, AUTOCISTAS, ANADIDORES	4.0	5.0	6.0	2.0	0.5	50.0	12.0
EXPUESTOS A INTEMPERIE	CONCRETOS ARQUITECTONICOS	2.0	3.0	4.0	2.0	0.5	50.0	12.0
LOSAS SUJETAS A TRAFICO ABRASIVO	PISOS, PATIOS, ARENES, PAVIMENTOS, CONCRETOS ARQUITECTONICOS	4.0	—	—	2.0	0.5	50.0	—
LOSAS SUJETAS A TRAFICO ABRASIVO	OTRA CLASE DE CONCRETOS	6.0	—	—	2.0	1.0	50.0	—

* PARA CONSTRUCCIONES Cuya ALTUD ES MAYOR DE 1000m SOBRE EL NIVEL DEL MAR DEBEN REDUCIRSE AL 10%.

LIMITES MAXIMOS DE SUSTANCIAS NOCIVAS O CONTAMINANTES Y
REQUISITOS DE PROPIEDADES FISICAS

CONCEPTO	% MAXIMO EN PESO	
	ARENA	GRAVA
CARBON Y LIGNITO		
CONCRETOS APARENTES.	0.5	0.5
OTROS CONCRETOS.	1.0	1.0
GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES.	3.0	3.0
CONTENIDO DE FINOS EN PRUEBA DE SEDIMENTACION.	3.0	—
PERDIDA POR ABRASION	—	50.0
RETENIDO PARCIAL EN CUALQUIER CRIBA NO DEBE SER MAYOR.	45	45

American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards

C 29-78	Unit Weight and Voids in Aggregate	Parts 14, 15*	C 535-81	Admixtures in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to Alkali-Aggregate Reaction	Part 14
C 33-82	Concrete Aggregates	Parts 14, 15		Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine	Parts 14, 15
C 40-79	Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete	Part 14	C 566-78	Total Moisture Content of Aggregate by Drying	Part 14
C 70-79	Surface Moisture of Fine Aggregate	Part 14	C 586-69 (1980)	Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)	Part 14
C 87-69 (1975)	Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar	Part 14	C 666-80	Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing	Part 14
C 88-76	Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate	Parts 14, 15	C 682-75 (1908)	Evaluation of Frost Resistance of Coarse Aggregates in Air-Entrained Concrete by Critical Dilation Procedures	Part 14
C 117-80	Material Finer Than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing	Parts 14, 15	C 779-81	Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces	Part 14
C 123-69 (1975)	Lightweight Pieces in Aggregate	Parts 14, 15	C 851-76	Scratch Hardness of Coarse Aggregate Particles	Part 14
C 125-82a	Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates	Parts 14, 15	C 944-80	Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method	Part 14
C 127-81	Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate	Parts 14, 15	D 75-82	Sampling Aggregates	Parts 14, 15, 19
C 128-79	Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate	Parts 14, 15	D 2419-74 (1979)	Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate	Parts 14, 15, 19
C 131-81	Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine	Parts 14, 15	D 2936-78	Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens	Part 19
C 136-82	Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates	Parts 14, 15	D 2938-79	Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens	Part 19
C 142-73	Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates	Parts 14, 15	D 3042-79	Insoluble Residue in Carbonate Aggregates	Parts 14, 15
C 227-81	Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)	Part 14	D 3319-81	Accelerated Polishing of Aggregates Using the British Wheel	Part 15
C 289-81	Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method)	Part 14	D 3398-81	Index of Aggregate Particle Shape and Texture	Part 15
C 295-79	Petrographic Examination of Aggregates for Concrete	Part 14	D 3665-78	Random Sampling of Paving Materials	Part 15
C 418-81	Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting	Part 14	D 3744-79	Aggregate Durability Index	Part 15
C 444-81	Effectiveness of Mineral				



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

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

Del 14 al 25 de noviembre de 1994.

DIRECTORIO DE ASISTENTES

- 1.- DE LA VEGA BRAVO HUMBERTO A.
JEFE DE PRODUCCION
PRECONCRETO SA DE CV
3a. CERRADA DE MINAS No. 42
COL. FRANCISCO VILLA
DELEG. ALVARO OBREGON
C.P. 01000
TEL: 627 02 88
MEXICO, D.F.
- 2.- DEHESA VELASCO JOSE RAFAEL
2a. CDA. DE GIRASOL No. 12
COL. SN. MARCOS
DELEG. XOCHIMILCO
C.P. 16050
TEL. 676 50 36
MEXICO, D.F.
- 3.- FEMAT MACIAS JOSE DE JESUS
JEFE DE PRODUCCION
PROCONCRETO SA DE CV
3a. CERRADA DE MINAS No. 42
COL. FRANCISCO VILLA
DELEG. ALVARO OBREGON
C.P. 01000
TEL: 6.27 02 88
MEXICO, D.F.
- 4.- GOMEZ RAMIREZ JUAN
RESIDENTE DE OBRA
T.T. CONSTRUCCIONES
MAR ARAFURA No. 3
COL. POPOTLA
DELEG. MIGUEL HIDALGO
TEL. 399 13 71
MEXICO, D.F.
- 5.- GUZMAN NEGRETE JAVIER
JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
PRETENCRETO SA DE CV
VIA GUSTAVO BAZ No. 280
COL. LA LOMA
DELEG. TLANEPANTLA
TLANEPANTLA, EDO. DE MEXICO
TEL. 397 63 80
- 6.- LEON CHAVEZ LORENZO
ESTRUCTURISTA
COMISION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
RIO MISSISSIPPI No. 71-7mo. PISO
SALA 702
COL. CUAUHTEMOC
DELEG. CUAUHTEMOC, C.P. 06500
TEL: 292 44 00 ext.3030 y 3031
- 7.- LOPEZ RUIZ RAFAEL
CONSULTOR PROFESIONAL
COMPANIA PROPIA
DR. VERTIZ No. 966-15
COL. NARVARTE
DELEG. BENITO JUAREZ
C.P. 03020
TEL. 682 10 66
MEXICO, D.F.
- 8.- PARGA LORENZO JOSE MARIA
INGENIERO CIVIL (PROYECTISTA)
COMISION FEDERLA DE ELECTRICIDAD
RIO MISSISSIPPI NO. 71- SALA 703
COL. CUAUHTEMOC
DELEG. CUAUHTEMOC
TEL. 229 44 00 ext. 3033
MEXICO, D.F.

#1.



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

- 9.- PINTO BORRAS JOSE ALFREDO
LABORATORISTA
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE
AV. COYOACAN No. 1895
COL. ACACIAS
DELEG. BENITO JUAREZ
TEL. 524 72 85
MEXICO, D.F.
- 10.- PUIG OLVERA FRANCISCO
TECNICO LABORATORISTA
LABORATORIO DE ENSAYE DE MATS.
CALLE 33 No. 33
COL. V. GOMEZ FARIAS
DELEG. VENUSTIANO CARRANZA
C.P. 15010
TEL. 762 27 90
MEXICO, D.F.
- 11.- PUIG OLVERA JULIO
TECNICO LABORATORISTA
LABORATORIO DE ENSAYE DE MATS.
CALLE 33 No. 33
COL. V. GOMEZ FARIAS
DELEG. VENUSTIANO CARRANZA
C.P. 15010
tel. 762 27 90
MEXICO, D.F.
- 12.- RODARTE MARTINEZ ROBERTO
DISEÑADOR
COMISION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
MISSISSIPPI No. 71
COL. CUAUHEMOC
DELEG. CUAUHEMOC
TEL. 229 48 00 ext. 3033
MEXICO, D.F.
- 13.- VARGAS MOSSO LUIS NICOLAS
SUPERVISOR DE OBRA
T.T. CONSTRUCCIONES SA DE CV
MAR ARAFURA No. 3
COL. POPOTLA
DELEG. MIGUEL HIDALGO
TEL. 399 29 20
MEXICO, D.F.
- 14.- VILLEGAS VILLAGRAN CARLOS
JEFE DE PROYECTO CIVIL
COMISION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
MISSISSIPPI No. 71-702
COL. CUAUHEMOC
DELEG. CUAUHEMOC
TEL.
MEXICO, D.F.