

73
20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

FUNDAMENTOS PARA MANEJAR
CONTROLES DE CALIDAD EN
EL CONCRETO

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

DAVID SALAZAR NUÑEZ



Asesor: Ing. Marcos Trejo Hernández

México, D.F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

271392



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-018/98

Señor
DAVID SALAZAR NUÑEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MARCOS TREJO HERNANDEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

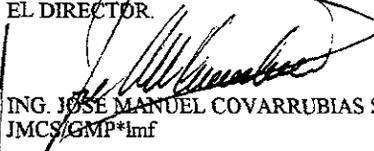
"FUNDAMENTOS PARA MANEJAR CONTROLES DE CALIDAD EN EL CONCRETO"

- I. INTRODUCCION**
- II. ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO**
- III. CONTROL DE CALIDAD EN EL CEMENTO EMPLEADO PARA EL CONCRETO**
- IV. CONTROL DE CALIDAD EN LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO**
- V. AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO**
- VI. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO**
- VII. PRUEBAS PARA DETERMINAR PROPIEDADES GENERALES DEL CONCRETO ENDURECIDO**
- VIII. CONTROLES DE CALIDAD PARA CONSOLIDAR EL CONCRETO A UTILIZAR EN OBRA**
- IX. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 6 de marzo de 1998.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*inf

A mi Madre Lolita

Con la infinita gratitud de haberme enseñado los senderos de la vida, por mostrarme con el ejemplo que cualquier sacrificio vale la pena para ser perseverante y no claudicar. Por que el destello de tu amor perdurara por siempre en mi corazón y en mi mente.

A mi Padre Elías

Por enseñarme y demostrarme que la vida se debe de vivir en forma cabal y sencillamente. Por aquellos momentos de convivir y aprender llenos de añoranza.

A mis Hermanas: Miriam, Elizabeth y Patricia

Por los momentos importantes en los cuales hemos estado juntos. En las venturas y adversidades, gracias por las cosas buenas de cada una. Son únicas.

A mis Sobrinos: Jessica, Alejandra, Carlos y Renan

Por devolverme con su inocencia sonrisas ya perdidas.

A mi Cuñado Renan

Por demostrarme que la vida es tan sencilla.

A mis Tíos

Por el pasado y el presente con imborrables recuerdos.

A Trini, Sr. Jorge y Sr. Bernardo

Por su amistad y afecto.

A mi Director de Tesis Ing. Marcos Trejo Hernández

Por su apoyo en todo momento.

A mis Amigos

Gracias por enseñarme la esencia de cada uno, con las cuales he aprendido ha discernir esta vida.

A la U.N.A.M.

Por brindarme la oportunidad de una formación integra.

A Dios

Por aprender a dudar y confiar en ti.

“Cuando el lenguaje no es capaz de expresar lo que deseamos, ni bastan todas las riquezas para retribuir como quisiéramos; solo podemos entregar el corazón”

Anónimo

“... es que la felicidad, la verdadera felicidad, es un estado mucho menos angélico y hasta menos agradable de lo que uno tiende siempre a soñar... la gente acaba por lo general sintiéndose desgraciada, nada mas que por haber creído que la felicidad era una permanente sensación de indefinible bienestar, de gozoso éxtasis, de festival perpetuo. No...la felicidad es bastante menos (o quizá bastante más, pero de todos modos otra cosa) y es seguro que muchos de esos presuntos desgraciados son en realidad felices, pero no se dan cuenta, no lo admiten, por que ellos creen que están muy lejos del máximo bienestar...”

MARIO BENEDETTI. LA TREGUA. DOMINGO 23 DE JUNIO. 1960.

INDICE

CONTENIDO	PAGINAS
INTRODUCCION	1
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO	2
CAPITULO II CONTROL DE CALIDAD EN EL CEMENTO EMPLEADO PARA EL CONCRETO	6
II.1 Fabricación del Cemento Portland	7
II.2 Tipo de Cemento Portland	10
II.3 Propiedades del Cemento Portland Especificaciones (ASTM)	17
II.4 Almacenamiento del Cemento	23
CAPITULO III CONTROL DE CALIDAD EN LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO	25
III.1 Características de los Agregados	27
III.2 Bancos de Materiales	42
III.3 Manejo y Almacenamiento de Materiales	48
CAPITULO IV AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO	52
CAPITULO V CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO	58
V.1 Concreto Recién Mezclado	59
V.2 Proceso de Dosificación del Concreto	62
V.3 Aditivos para el Concreto	68
V.4 Muestreo del Concreto Recién Mezclado Pruebas de Concreto Recién Mezclado	75

INDICE

CONTENIDO	PAGINAS
CAPITULO VI PRUEBAS PARA DETERMINAR PROPIEDADES GENERALES DEL CONCRETO ENDURECIDO	91
VI.1 Pruebas Destructivas	93
VI.2 Pruebas No Destructivas	99
VI.3 Aplicación de Métodos Estadísticos para la interpretación de resultados de acuerdo al ACI 214-97. Evaluación de resultados Ejemplo Ilustrativo "Planta de Selección y Recuperación de Sub-productos de desechos Sólidos"	106
CAPITULO VII CONTROLES DE CALIDAD PARA CONSOLIDAR EL CONCRETO A UTILIZAR EN OBRA	121
VII.1 Transporte y Manejo del Concreto	122
VII.2 Colocación y Acabado del Concreto	128
CONCLUSIONES	144
BIBLIOGRAFIA	146

INTRODUCCION

Para manejar controles de calidad en el concreto se requiere de un conjunto de técnicas y procedimientos que nos servirán de dirección para orientar, supervisar y controlar todas las etapas en las cuales se maneja el concreto, desde la obtención de la materia prima, producción y consumo del mismo, es decir la calidad de este resultara satisfactoria cuando responda a las necesidades que garanticen un concreto con los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso.

Hablar del control de calidad del concreto hidráulico y sus componentes, resulta primordial si se considera que es uno de los materiales mas utilizados para construir, es usual escuchar hablar sobre la nobleza del concreto, en relación con las libertades que sus diversas propiedades han permitido a través de innumerables aplicaciones, las cuales han despertado interés por obtener conocimientos más exactos del concreto, materia con la que se han construido tantas y tan admirables obras de ingeniería.

Elegir bajo una razonable selección y proporcionamiento de los ingredientes, seguramente se estará en la posibilidad de producir un concreto que, una vez endurecido, se traduzca en una estructura homogénea sana y estable bajo condiciones normales de servicio. Pero ello es evidente que no seria suficiente, el concreto, que es una masa de materiales heterogéneos, esta sujeto a la influencia de numerosas variables. Dependiendo de su variabilidad, las características de cada uno de los ingredientes del concreto puede ocasionar modificaciones en la resistencia de este. Las variaciones también pueden ser el resultado de la aplicación deficiente de las practicas seguidas durante la dosificación, mezclado, transportación, colocación y curado, es aquí donde se deberá tomar en cuenta que existen pruebas de evaluación para cada uno de estos casos, haciendo uso de procedimientos establecidos para la oportuna verificación de resultados y disponiendo de los medios para interpretarlos debidamente.

El presente trabajo tiene como finalidad primordial proporcionar al estudiante y profesional interesado una herramienta más para el mejor *conocimiento del concreto mismo*, bajo los lineamientos fundamentales que deberían de conocer aquellas personas relacionadas en el ramo de la construcción, a fin de proporcionar la garantía de que cualquier programa de control de calidad de obra logre sus objetivos.

ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una pasta semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partículas que pueden llegar hasta 5 mm.; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla N° 16 y pueden variar hasta 152 mm. (6"). El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm. (3/4") o el de 25 mm. (1").

La pasta esta compuesta de cemento portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40% del volumen total del concreto, el volumen absoluto del cemento esta comprendido usualmente entre el 7 y el 15%, y el agua entre el 14 y el 21%. El contenido de aire en un 2% aproximadamente (con aire incluido puede llegar hasta el 9%) del volumen del concreto. Los agregados constituyen aproximadamente del 60 al 75% del volumen total del concreto.

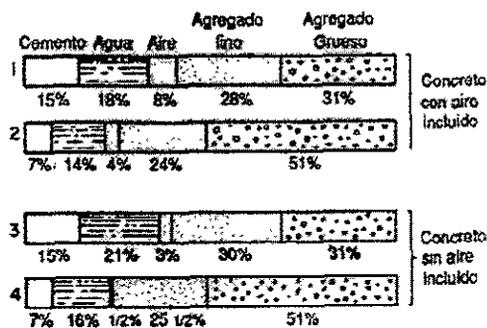


Fig. 1-1 Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

La calidad del concreto endurecido esta determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento, se obtienen ventajas importantes al reducir el contenido de agua que a continuación se en listan:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre las capas sucesivas y entre el concreto y el refuerzo.
- Se presenta menor cambio volumétrico causado por humedecimiento y secado.
- Se reducen las tendencias de agrietamiento por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad del concreto a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento, reducir la demanda de agua, aumentar la trabajabilidad, incluir intencionalmente aire, y ajustar otras propiedades del concreto.

Las variaciones de tipos y calidad de todos estos ingredientes son muy grandes si los consideramos en términos generales. Sin embargo debemos comprender que para cada obra en especial se deben realizar las investigaciones y estudios iniciales necesarios para definir los siguientes conceptos:

- Fuentes de abastecimiento
- Tipos y características especiales dependiendo de la calidad y fin que requiere la obra.
- Diseño de proporciones
- Especificaciones de calidad del concreto

El concreto, en su estado plástico, es una mezcla fluida y trabajable que se puede moldear casi en cualquier forma. Cuando se mezcla empieza endurecerse lentamente, pero permanece fluido y trabajable durante varias horas. Este lapso es lo suficientemente largo para permitir el colado y el

acabado. Después de alcanzar el fraguado inicial, el concreto continua ganando resistencia durante varios meses, y en ocasiones años, pero la resistencia que por lo general se especifica es la resistencia a la compresión a los 28 días.

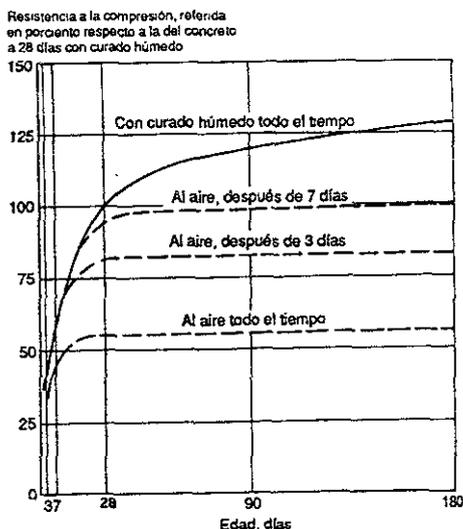


Fig. 1-2 La resistencia del concreto se incrementa con la edad en tanto estén presentes una humedad y una temperatura favorable para la hidratación del cemento.

CLASIFICACION GENERAL DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO

La mayoría de las construcciones de concreto pueden dividirse en: trabajos con cimbras, losas de piso y concreto masivo. Los fundamentos del concreto son, sin embargo, aplicables a todos los tipos de construcciones, y las tres grandes divisiones señaladas aquí serán suficientes para la presentación de los fundamentos comunes.

Los elementos moldeados con cimbra como es el caso de vigas, columnas, muros, arcos, y algunos revestimientos de túneles van, por lo general, reforzados; el espacio para la colocación es restringido y, en algunos casos, puede necesitarse un tratamiento a la superficie después de la remoción de la cimbra. Las losas de pavimento y de piso tienen una superficie expuesta relativamente grande, cuyo acabado y protección debe hacerse lo mas pronto posible después de la colocación del concreto.

Aunque el concreto masivo en presas, muelles y cimentaciones, tiene una relación superficie–volumen relativamente baja, merece considerarse la adherencia entre las diferentes partes colocadas y la elevación de temperatura.

PRINCIPALES REQUISITOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

- Sus elementos constituyentes deben estar dispersados uniformemente.
 - Cumplir con la resistencia requerida.
 - Que sean resistentes al clima, al desgaste y a otros agentes destructores a los que pueden estar expuestos, y sin contracción excesiva al enfriarse o al secarse.
 - Alta impermeabilidad al agua o a otros líquidos.
 - Alta resistencia a la abrasión o a productos químicos agresivos
 - En algunos casos se requiere que el concreto cumpla requisitos especiales: por ejemplo que sean resistentes al fuego, ligeros en peso, especialmente liso o que su acabado especial tenga una textura hecha a propósito
 - Puede requerirse que el concreto endurecido tenga una apariencia o acabado arquitectónico particular.
-

**CONTROL DE CALIDAD EN EL CEMENTO EMPLEADO
PARA EL CONCRETO****GENERALIDADES DEL CEMENTO**

La invención del cemento portland se atribuye generalmente a Joseph Aspdin, un albañil inglés. En 1824 obtuvo una patente por su producto, al cual denominó cemento portland debido a que producía un concreto que en color semejaba a una caliza natural que se explotaba en el islote de Portland, península en el canal de la Mancha. El nombre ha permanecido y se emplea en todo el mundo, con muchos fabricantes que le agregan su propio nombre de marca. A pesar de que Aspdin fue el primero en prescribir una fórmula para el cemento portland y el primero en patentar su producto, los cementos calcáreos ya se habían empleado desde hace muchos siglos.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta (cemento y agua) se agrega a los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular) actúa como adhesivo y une a todas las partículas de agregado para formar así el concreto, el material más versátil y de mayor uso en el mundo.

La hidratación comienza tan pronto como el cemento entra en contacto con el agua. Cada partícula de cemento forma un aumento sobre su superficie, mismo que gradualmente se extiende hasta enlazarse con el aumento de otras partículas de cemento o hasta que se adhiere a las sustancias adyacentes. Esta reconstitución tiene como resultado la progresiva rigidización, endurecimiento y desarrollo de resistencia. La rigidización del concreto se puede reconocer por una pérdida de trabajabilidad que normalmente ocurre dentro de las tres primeras horas luego del mezclado, pero depende de la composición y finura del cemento, de las proporciones de la mezcla y de las condiciones de temperatura. Posteriormente el concreto fragua y comienza a endurecer.

La hidratación prosigue mientras se disponga de espacio para los productos de la hidratación y se tengan condiciones favorables de humedad y temperatura (curado). A medida que la hidratación continua, el concreto se vuelve más duro y más resistente. La mayor parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia tiene lugar durante el primer mes del ciclo de vida del concreto, pero continua, aunque más lentamente, durante un largo periodo;

se ha registrado en investigaciones de laboratorio incrementos de resistencia durante un periodo de 50 años*.

FABRICACION DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento portland se produce al pulverizar el clinker, que consiste principalmente en silicatos hidráulicos de calcio juntos con algunos aluminatos de calcio y aluminoferritos de calcio y normalmente contiene una o más formas de sulfato de calcio (yeso), como adición al proceso de molienda.

Dentro de las propiedades químicas es conveniente indicar cuales son los principales de un cemento:

Silicato tricálcico	C ₃ A
Silicato dicálcico	C ₂ S
Aluminato tricálcico	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	C ₃ AF

Estos elementos constituyen alrededor del 90% del cemento, el otro 10% lo constituyen elementos como: yeso, cal libre, magnesio, alcalisis, etc.

A continuación se describe brevemente la función de cada uno de estos elementos en el cemento.

- C₃S Silicato tricálcico.
De este elemento dependen las resistencias que se obtengan hasta los 28 días aproximadamente.
- C₂S Silicato dicálcico.
Del C₂S dependerán las resistencias que se obtengan a partir de los 28 días.
- C₃A Aluminato tricálcico
Es el elemento que más calor genera en el cemento. De este depende las variaciones del volumen del cemento y la formación de grietas.
Este elemento es el más vulnerable al ataque de los sulfatos.
- C₄AF Ferroaluminato tetracálcico
Ayuda a acelerar la hidratación en el concreto.

* Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Capítulo 2. Pag.13

SO₄Ca Yeso

Regula la acción química entre el cemento y el agua y controla el tiempo de fraguado.

Los materiales usados para fabricar cemento portland deben contener porciones adecuadas de óxido de calcio, sílice, alúmina y componente de óxido de hierro. Durante su manufactura, se analizan frecuentemente todos los materiales para asegurar un cemento de alta calidad uniforme.

Los pasos a seguir en la manufactura del cemento se ilustran en los diagramas de las figuras 2-1 y 2-2. Mientras que el funcionamiento de todas las plantas de cemento es básicamente el mismo, ningún diagrama de flujo puede ilustrar adecuadamente a todas ellas. No existe ninguna planta típica de producción de cemento portland; cada planta tiene diferencias en cuanto a su disposición, equipo, o apariencia general.

Las materias primas seleccionadas (tabla 2-1) se trituran, muelen y dosifican de tal manera que la mezcla resultante tenga la composición química deseada. Las materias primas son generalmente una mezcla de material calcáreo (óxido de calcio), como la caliza, marga, creta, o coquilla, y un material arcilloso (sílice y lumina) como la pizarra, esquisto o escoria de alto horno.

TABLA 2.1. Fuentes de materias primas empleadas para la fabricación del cemento portland.

Cal, CaO	Hierro Fe ₂ O ₃	Sílice Si O ₂	Alúmina Al ₂ O ₃	Yeso, CaSo4*2H ₂ O	Magnesia Mg O
Desechos industriales	Polvo del conducto de humo	Silicato de calcio	Desperdicio de material de aluminio*	Anhidrita	Roca Calcárea
Aragonita*	De horno de fundición	Roca calcárea	Bauxita	Sulfato de calcio	Caliza
Calcita*	Arcilla*	Arcilla*	Roca Calcárea	Yeso	Escoria
Poivo del horno de cemento	Mineral de Hierro*	Ceniza Volante	Arcilla*		
Roca Calcárea	Costras de laminado*	Greda	Escoria de		
Creta	Lavaduras de	Caliza	Cobre		
Arcilla	Mineral	Loes	Ceniza volante*		
Greda	Cenizas de pirita	Marga*	Greda		
Caliza*	Esquisto	Lavaduras de	Granodiorita		
Mármol		Material	Caliza		
Marga*		Cuarcita	Loes		
Coquilla		Ceniza de cáscara de arroz	Lavaduras de		
Esquisto		Arena*	Material		
Escoria		Arenisca	Esquisto*		
		Esquisto*	Escoria		
		Escoria	Estauroлита		
		Basalto			

*Fuentes más comunes.

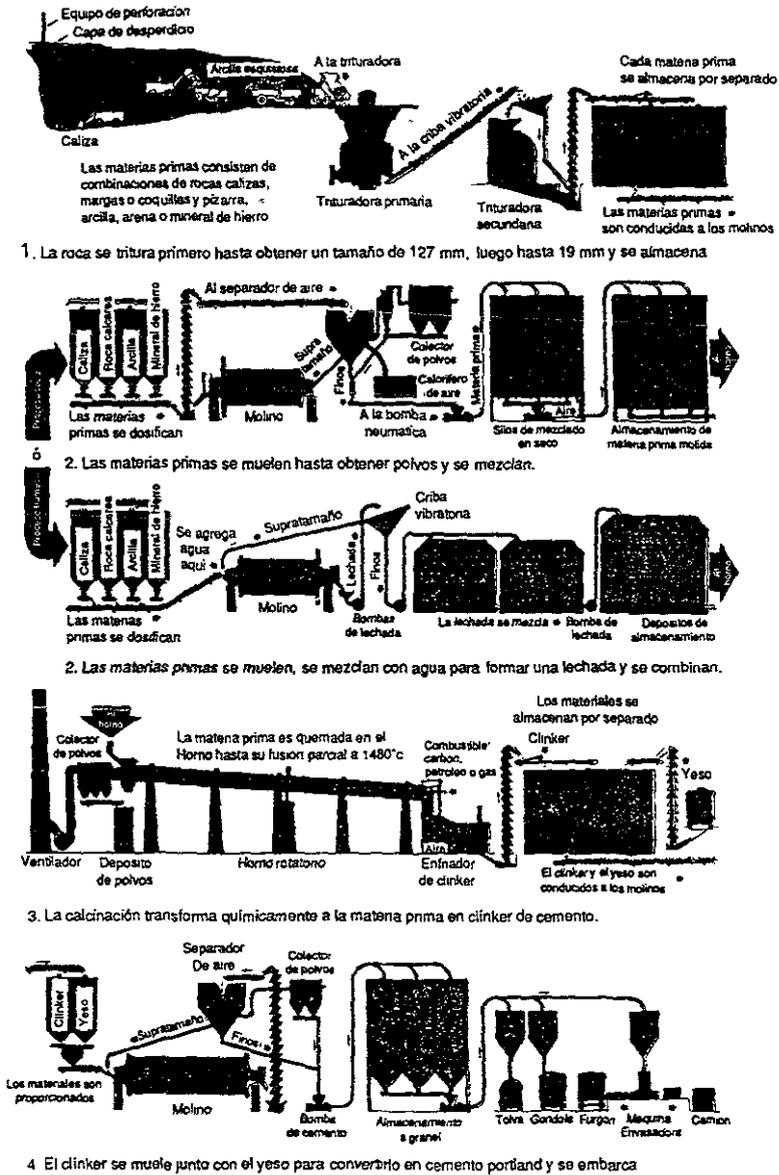


Fig. 2.1 Etapas en la fabricación del cemento portland.

Se utiliza un proceso seco o húmedo. En el proceso seco, la molienda y el mezclado se realizan con materiales secos. En el proceso húmedo, las operaciones de molienda y de mezclado se efectúan con los materiales en forma de lechada. En otros aspectos, los procesos seco y húmedo son muy similares. La figura 2-2 ilustra desarrollos tecnológicos importantes que pueden mejorar significativamente la productividad y la eficiencia energética de plantas con proceso seco.

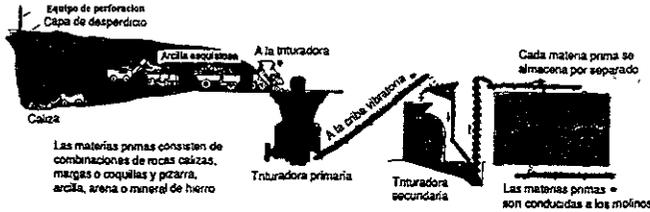
Luego del mezclado, la materia prima molida se alimenta por el extremo superior de un horno. La materia prima pasa a una velocidad que se controla por medio de la pendiente y velocidad rotacional del horno. En el extremo inferior del horno el combustible para calcinar (carbón pulverizado, combustóleo o gas), es inyectado; donde las temperaturas de 1420 °C a 1650 °C transforman químicamente en la materia prima en clinker de cemento, que tiene la forma de pelotillas negro-grisáceas de 12mm de diámetro.

El clinker se pone a enfriar y posteriormente se pulveriza. En el transcurso de esta última operación se agrega una pequeña cantidad de yeso que sirve para regular el tiempo de fraguado del cemento. El clinker se muele tan finamente que casi en su totalidad logra pasar la malla N° 200 (75 micras), mismas que tiene 6,200 aberturas por centímetro cuadrado. Este polvo gris extremadamente fino es el cemento portland.

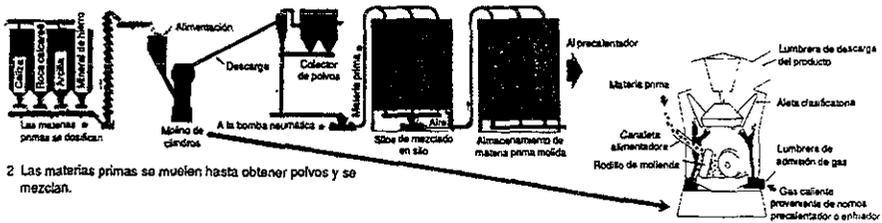
TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Los diferentes tipos de cemento portland se fabrican para satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas y para objetos muy especiales. La norma C 150¹ "Especificación estándar para cemento portland" de la American Society for Testing and Materials (ASTM), estipula ocho tipos de cemento portland:

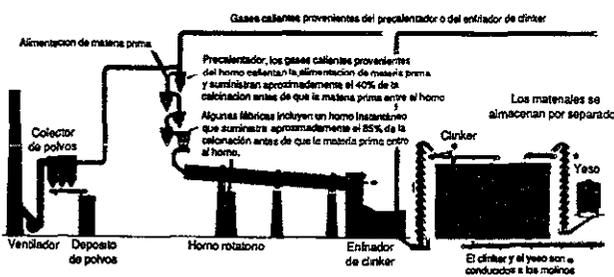
- Tipo I Normal
 - Tipo IA Normal, inclusor de aire
 - Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos
 - Tipo IIA De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire
 - Tipo III De alta resistencia a edad temprana
 - Tipo IIIA De alta resistencia a edad temprana, inclusor de aire
 - Tipo IV De bajo calor de hidratación
 - Tipo V De resistencia elevada a los sulfatos.
-



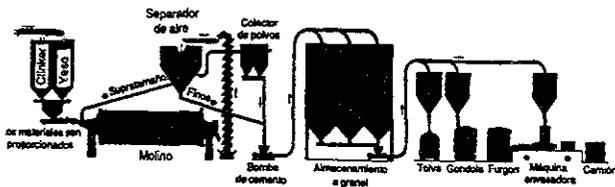
1 La roca se tritura primero hasta obtener un tamaño de 127 mm, luego hasta 19 mm y se almacena.



2 Las materias primas se muelen hasta obtener polvos y se mezclan.



3 La calcinación transforma químicamente a la materia prima en clinker de cemento. Note el precalentador de cuatro etapas, los hornos instantáneos y la menor longitud del horno principal.



4 El clinker se muele junto con el yeso para convertirlo en cemento portland y se embarca.

Fig. 2-2. Manufactura del cemento por proceso seco.

TIPO I

El cemento portland es un cemento de uso general, adecuado para ser empleado cuando las propiedades especiales de los demás tipos de cemento no sean necesarias. Se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos tales como el ataque de sulfatos existentes en el suelo o en el agua o en concretos que tengan un aumento cuestionable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación. Entre sus usos incluye pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes estructuras para vías férreas, tanque y depósitos, tuberías, mamposterías, y otros productos de concreto prefabricado.

TIPO II

El cemento tipo II se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como ocurre en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos existentes en las aguas freáticas son mayores de lo normal, pero sin llegar a ser demasiado severas. El cemento tipo II generará menos calor a menor velocidad que el cemento tipo I. Si se especifican límites máximos para el calor de hidratación, este cemento puede ser empleado en estructuras de volumen considerable, como en pilas de gran masa, estribos gruesos y muros de contención. Su uso reducirá el aumento de temperatura, hecho especialmente para realizar colados de concreto en climas cálidos.

TIPO III

El cemento portland tipo III proporciona resistencias elevadas a edades tempranas, normalmente a una semana o menos. Químicamente y físicamente es similar al cemento tipo I, excepto que sus partículas han sido molidas más finamente. Se emplea cuando las cimbras deben ser retiradas lo más pronto posible o cuando se tenga que poner rápidamente en servicio la estructura. En climas fríos su uso permite reducir el curado controlado. A pesar que se pueden usar mezclas más ricas de cemento tipo I para lograr incrementos de resistencia a edades tempranas, el cemento tipo III puede lograr esto mismo satisfactoriamente y con mayor economía.

TIPO IV

El cemento tipo IV se emplea cuando se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación. Desarrolla resistencia a una velocidad muy inferior a la de otros tipos de cemento. El cemento tipo IV se destina para estructuras de concreto masivo, como presas de gravedad grandes, donde el aumento de temperatura resultante del calor generado en el transcurso del endurecimiento se tenga que conservar en el valor mínimo posible.

TIPO V

El cemento portland tipo V se emplea exclusivamente en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos, especialmente donde los suelos o las aguas freáticas contengan fuertes contenidos de sulfatos. Su resistencia es adquirida más lentamente que en el cemento tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A). La resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o se aumenta los contenidos de cemento (relaciones agua-cementos bajas). El cemento tipo V, al igual que los demás cementos portland, no es resistente al ataque de ácidos ni de otras sustancias fuertemente corrosivas.

CEMENTOS PORTLAND INCLUSORES DE AIRE

En la norma ASTM C 150 aparecen las especificaciones para los tres tipos de cemento inclusor de aire (tipos IA, IIA, y IIIA). Corresponden en su composición a los tipos I, II y III respectivamente, con la salvedad de que pequeñas cantidades de materiales inclusor de aire han sido mezcladas junto con el clínker durante su fabricación. La mayoría de los aditivos inclusores de aire consisten generalmente en uno o más de los materiales siguientes: resina de madera (resina Vinsol), hidrocarburos sulfonatados, ácidos grasos y resinosos, y materiales sintéticos. Normalmente los aditivos inclusores de aire son líquidos y no se deben dejar que se congelen. Estos cementos producen concretos con resistencias mejoradas contra la acción de la congelación-deshielo y contra la descamación provocada por la aplicación de productos químicos para remover hielo o nieve. Semejantes concretos contienen diminutas burbujas de aire uniformemente distribuidas, y totalmente separadas entre sí.

Los agente inclusores de aire aniónicos* son hidrófobos (repelen el agua) y están cargados eléctricamente. La carga eléctrica negativa es atraída hacia los granos de cemento cargados positivamente, lo que ayuda a estabilizar las burbujas. El agente inclusor de aire forma una fuerte película repelente al agua —similar a una película de jabón— con la resistencia y elasticidad suficiente para encerrar y estabilizar las burbujas de aire y evitar que se fusionen. La película hidrófoba también impide que el agua penetre en las burbujas. La acción revolvedora y amasadora del mezclado mecánico dispersa las burbujas de aire. Las partículas de agregado fino también actúan como una rejilla tridimensional para ayudar a mantener las burbujas en la mezcla. Ver capítulo VI. 3. Aditivos para el concreto.

CEMENTO PORTLAND BLANCO

El cemento blanco es un verdadero cemento portland que difiere del cemento gris exclusivamente en cuanto a su color. Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C 150, normalmente con respecto al tipo I o al tipo II; sin embargo el proceso de manufactura es controlado de manera tal que el producto terminado sea blanco. El cemento blanco es fabricado con materias primas que contienen insignificantes de óxido de hierro y de manganeso —que son sustancias que dan color gris al cemento. El cemento blanco se utiliza principalmente para fines arquitectónicos, como muros precolados, paneles para fachadas, recubrimientos de terrazos, aplanados, pintura de cemento, pegamento para azulejos, y como concreto decorativo. Se recomienda el uso de este cemento siempre que se desee un concreto o un mortero blanco o coloreado.

CEMENTOS HIDRAULICOS MEZCLADOS

Hoy en día el interés de preservar la energía ha impulsado el uso de materiales secundarios en el concreto de cemento portland. Los cementos hidráulicos mezclados se producen al mezclar de manera alternada y uniforme dos tipos de materiales finos. Los principales materiales de mezclado son el cemento portland, escorias de alto horno molidas, cenizas volantes y otras puzolanas. Los cementos hidráulicos mezclados deben concordar con los requisitos de la norma ASTM C 595², que reconoce la existencia de cinco clases de cemento mezclados:

* También existen aditivos no iónicos.

Cemento Portland de Escoria de Alto Horno – Tipo IS

Este cemento se puede emplear en las construcciones en general. Al producir este tipo de cemento, la escoria de alto horno granulada de calidad seleccionada se muele junto con el clinker, o se muele separadamente y luego se mezcla (con el cemento portland), o se produce por medio de una combinación de molienda y mezclado. El contenido de escoria de alto horno de este cemento varía entre el 25 y el 70% en peso.

Cemento Portland-Puzolana –Tipo IP y Tipo P

El tipo IP puede ser empleado en construcciones en general y el tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas. El tipo P se utiliza normalmente en estructuras masivas, como estribos, presas y pilas de cimentación. Estos cementos se fabrican moliendo clinker de cemento portland con una puzolana apropiada; mezclando cemento portland o cemento portland de escoria de alto horno junto con una puzolana; o por una combinación de los dos procesos. El contenido de puzolana de los dos cementos se encuentra entre 15 y 40% en peso.

Cemento Portland modificado con Puzolana - Tipo I(PM)

Se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El cemento se fabrica combinando cemento portland o cemento portland de escoria de alto horno con una puzolana fina. El contenido de la puzolana es menor que el 15%, en peso, del cemento terminado.

Cemento de Escoria – Tipo S

Este cemento de escoria se utiliza comúnmente en donde se requieren resistencias inferiores. El contenido mínimo de escoria es del 70% del peso del cemento del mismo.

Cemento Portland Modificado con Escoria – Tipo I(SM)

Se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El contenido de escoria es inferior al 25% del peso de cemento terminado.

Los cementos mezclados se pueden usar en las construcciones de concreto cuando no sean necesarias las propiedades específicas de otros tipos de cemento. Varios de los cementos mezclados tienen una menor adquisición de resistencia a edad temprana si se les compara contra el cemento tipo I. En consecuencia, si se diluye un cemento mezclado agregándole todavía más puzolana o escorias, el concreto que se produzca se deberá probar cuidadosamente en cuanto a cambios de resistencia, durabilidad, contracción,

permeabilidad y otras propiedades. Las temperaturas bajas en el colado y curado pueden disminuir considerablemente el incremento de resistencia y aumentar el tiempo de fraguado en concreto de cementos mezclados de escoria o puzolana.

CEMENTOS DE ALBAÑILERÍA

Este tipo de cementos hidráulicos es diseñado para emplearse en morteros para construcciones de mampostería. Se componen de algunos o varios de los siguientes compuestos: cemento portland, cemento portland-puzolana, cemento portland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica, y cemento natural; Además contiene normalmente materiales como cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla. Los materiales se seleccionan de acuerdo a su capacidad par impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros.

La trabajabilidad, resistencia y color de los cementos de albañilería se mantiene en niveles uniformes gracias a los controles durante su manufactura. Aparte de ser empleados en morteros para trabajos de mampostería, los cementos de albañilería se pueden usar para argamasas y aplanados; nunca se deben emplear para elaborar concreto.

CEMENTOS ESPECIALES

Existen tipos de cemento que no están necesariamente incluidos en las especificaciones ASTM; algunos de ellos contienen cemento portland. A continuación se comentan algunos cuantos.

Cementos para Pozo Petrolero

Los cementos para pozo petrolero, empleados para sellar pozos de petróleo, normalmente están hechos de clinker de cemento portland o de cemento hidráulicos mezclados. Generalmente deben tener un fraguado lento y deben ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas. Cada clase resulta aplicable para usarse en un cierto rango de profundidades de pozo, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados.

Cementos Portland Impermeabilizados

El cemento portland impermeabilizado usualmente se hace añadiendo una pequeña cantidad de aditivo repelente al agua como el estearato (de sodio, de aluminio, u otros) al clinker de cemento portland durante la molienda final.

Fabricado en color blanco o gris, reduce la transmisión capilar de agua a presiones bajas o nulas, sin embargo no detiene la transmisión de vapor de agua.

Cementos Plásticos

Los cementos plásticos se hacen añadiendo agentes plásticos, en una cantidad no mayor del 12% del volumen total, al cemento portland del tipo I ó II durante la operación de molienda. Estos cementos comúnmente son empleados para hacer morteros y aplanados.

Cemento de Fraguado Regulado

El cemento de fraguado regulado es un cemento hidráulico que se puede formar y controlar para producir concreto con tiempos de fraguado que varíen desde unos cuantos minutos hasta una hora y con un desarrollo de resistencia a edad temprana correspondiente a 70 kg/cm^2 ó más luego de una hora después de haber fraguado. Se trata de un cemento portland modificado que se puede fabricar en el mismo horno usado para fabricar cemento portland convencional. El cemento portland de fraguado regulado incorpora componentes para el control de fraguado (sulfato de calcio) junto con componentes para el desarrollo de resistencia a edad temprana. Las propiedades físicas finales del concreto resultante son en muchos aspectos comparables a las de concretos similares fabricados con cemento portland.

PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND ESPECIFICACIONES (ASTM)

La mayor parte de especificaciones para el cemento portland limitan su composición química y sus propiedades físicas. El significado de algunas de estas propiedades físicas es útil para interpretar los resultados de las pruebas que se efectúan al cemento. En general las pruebas de las propiedades físicas del cemento deben ser utilizadas exclusivamente para evaluar las propiedades del cemento más que para el concreto.

FINURA

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos de una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiesta principalmente durante

los primeros siete días. Aproximadamente del 85 al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras. La finura se mide por medio del ensaye del turbidímetro de Wagner³, el ensaye Blaine⁴ de permeabilidad al aire, o con la malla⁵ N° 325 (45 micras).

SANIDAD

La sanidad es la propiedad que tiene una pasta de cemento fraguado a permanecer con un volumen constante. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia. En ocasiones los cambios volumétricos se presentan meses después de elaborada la mezcla, por lo que las pruebas que existen para determinar la sanidad de un cemento aceleran el tiempo de fraguado.

CONSISTENCIA

La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir. Durante el ensaye de cemento se mezclan pastas de consistencia normal, misma que se define por una penetración de 10 ± 1 mm de aguja de Vicat, mientras se mezclan morteros para obtener ya sea una relación agua-cemento fija o para producir una cierta fluidez dentro de un rango dado. La fluidez se determina en una mesa de fluidez tal como lo indica la norma ASTM C 230⁶. Estos métodos, el de consistencia normal y el de prueba de fluidez sirven para regular los contenidos de agua de las pastas y morteros respectivamente, que serán empleados en pruebas subsecuentes. Ambos permiten comparar distintos ingredientes con la misma penetración o fluidez.

TIEMPO DE FRAGUADO

Se considera que el fraguado es el proceso mediante el cual una pasta de cemento pasa del estado fluido al estado sólido. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final no debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta esta desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influye sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua cemento, y los aditivos usados. Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma ASTM C 150, se efectúan pruebas usando el

aparato de Vicat⁷ ó la aguja de Gillmore. El proceso con la aguja de Vicat se divide en dos etapas para su correcto estudio:

Fraguado inicial.- Se considera desde el momento que el agua entra en contacto con el cemento, hasta que la aguja del aparato de Vicat penetre 5 mm en la mezcla.

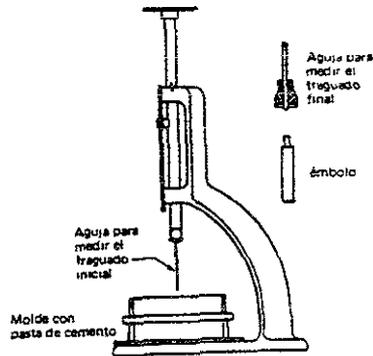


Fig. 2-3. Aparato de Vicat.

Fraguado final.- Para determinar cuando ocurre esta etapa, es necesario recurrir a una aguja de sección cuadrada de 1mm, con un cono ahuecado de manera que tenga una arista cortante de 5 mm, o de diámetro y colocado 0.5mm, arriba del extremo de la aguja. Al poner estos implementos en contacto con la pasta, la aguja dejará marca, no así el filo cortante del cono.

FRAGUADO FALSO

El fraguado falso se comprueba por una considerable pérdida de plasticidad sin que se desarrolle calor en gran abundancia poco después del mezclado, es decir se presenta a pocos minutos de que el cemento ha hecho contacto con el agua. Consiste en el endurecimiento casi inmediato, es decir antes del tiempo normal de fraguado. La causa del fraguado falso se origina cuando se deshidrata el yeso contenido en el cemento. Esta deshidratación ocurre en los molinos donde el clinker y el yeso se muelen conjuntamente para obtener el cemento.

Desde el punto de vista de la colocación y del manejo, las tendencias del cemento portland a provocar fraguado falso no causaran dificultad si el concreto se mezcla un mayor tiempo de lo normal o si es remezclado sin agregarle agua antes de ser transportado y colado.

RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión¹, es obtenida a partir de pruebas de cubo de mortero estándar de 5 cm. (como lo ilustra la fig. 2.4.). Estos cubos⁸ se hacen y se curan de la manera prescrita usando una arena estándar. La resistencia a la compresión está influida por el tipo de cemento, para precisar, por la composición química y la finura del cemento, como se indica en la tabla 2.2. No se puede considerar que dos tipos de cemento portland que cubran los mismos requisitos mínimos produzcan la misma resistencia en el mortero o en el concreto cuando no se hayan modificado las proporciones de las mezclas.

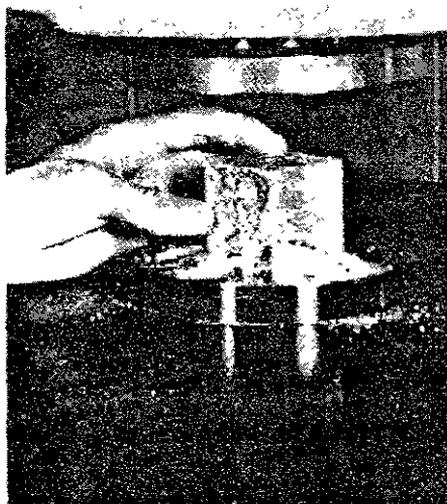


Fig. 2-4 Ensayo a compresión de mortero de cemento empleado un espécimen cúbico de 5 cm de arista

En general, las resistencias de los cementos (teniendo como base las pruebas de cubos de mortero) no se pueden usar para predecir las resistencias de los concretos con exactitud debido a la gran cantidad de variables en las

características de los agregados, mezclas de concreto y procedimientos constructivos.

TABLA 2.2. Requisitos de resistencia a compresión para morteros elaborados con diferentes tipos de cemento.

Tipo de Cemento	Resistencia a compresión mínima, kg/cm ²			
	1 día	3 días	7 días	28 días
Cementos Portland				
I	-	127	197	281*
IA	-	102	158	225*
II	-	105	176	281*
	-	70 ⁺	120 ⁺	225* ⁺
IIA	-	84	141	225*
	-	56 ⁺	95 ⁺	180* ⁺
III	127	246	-	-
IIIA	102	197	-	-
IV	-	-	70	176
V	-	84	155	211
Cemen. Mezclados				
Tipo K(SM), IS, IP I(PM)	-	127	197	246
Tipo S	-	-	42	105
Tipo P	-	-	105	211

*Requisito opcional.

⁺Aplicable cuando se especifica el calor opcional de hidratación o el límite químico de C₃S y C₃A.

Nota¹ : La norma ASTM C 150 solo fija un requisito mínimo de resistencia que es cómodamente rebasado por la mayoría de los fabricantes.

Nota² : Cuando se especifica un calor de hidratación bajo o moderado en cementos mezclados, el requisito de resistencia es de 80% del valor mostrado.

CALOR DE HIDRATACION

El calor de hidratación, es el calor generado cuando reaccionan el agua y el cemento. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, siendo el C₃A y el C₃S los compuestos particularmente responsables del elevado desarrollo de calor. Otros factores que también influyen son la relación agua-cemento, la finura del cemento, y la temperatura del curado. Cuando se incrementa la relación agua-cemento, la finura y la temperatura de curado aumenta el calor de hidratación. Esto puede ser indeseable puesto que, después del endurecimiento a una elevada temperatura, el enfriado no uniforme en el concreto hasta alcanzar la temperatura ambiente, puede crear esfuerzos indebidos a contracción térmica y a condiciones de restricción. Por otra parte, el aumento en la temperatura del concreto provocado por el calor de hidratación es a menudo benéfico en climas fríos puesto que ayuda a mantener temperaturas de curado favorables.

Las cantidades aproximadas de calor generado durante los primeros siete días, tomando como 100% al del cemento portland Tipo I, son las siguientes:

Tipo II	moderado	80% a 85%
Tipo III	alta resistencia a edad temprana	hasta 150%
Tipo IV	bajo calor de hidratación	40% a 60%
Tipo V	resistente a los sulfatos	60% a 75%

PERDIDA POR IGNICION

La pérdida por ignición del cemento portland se determina calentando una muestra de cemento de peso conocido a 900 °C ó 1000 °C, hasta que obtenga un peso constante. Se determina entonces la pérdida en peso de la muestra. Normalmente una pérdida por ignición elevada indica prehidratación y carbonatación, que puede ser causada por un almacenamiento prolongado e inadecuado o por adulteraciones durante el transporte y la descarga

PESO ESPECIFICO

El peso específico⁹ del cemento portland generalmente es de 3.15. El cemento portland de escorias de alto horno y los cementos portland puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90. El peso específico de un cemento no es indicador de la calidad del cemento; su uso principal se tiene en los cálculos de proporcionamientos de mezclas.

TABLA 2.3 Sinopsis de las principales propiedades del cemento portland.

PROPIEDADES	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
FINURA	Influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación, a mayor finura mayor rapidez de hidratación, por lo tanto mayor desarrollo de resistencia.
SANIDAD	Característica que tiene la pasta de cemento fraguado a permanecer con un volumen constante. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por la cal libre o magnesia en exceso.
CONSISTENCIA	Indica la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado ó su capacidad de fluir.
TIEMPO DE FRAGUADO	Es el intervalo en el cual una pasta de cemento pasa del estado fluido al estado sólido; indicando si la pasta desarrolla reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado
FALSO FRAGUADO	Se comprueba por pérdida de plasticidad, sin desarrollo de calor poco después de mezclado. La causa se origina cuando se deshidrata el yeso contenido en el cemento.
RESISTENCIA A LA COMPRESION	Es obtenida a partir de cubos de mortero. La resistencia esta influida por la composición química y finura del cemento; no se puede usar para predecir las resistencias de los concretos con exactitud

PROPIEDADES	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
CALOR DE HIDRATACIÓN	Es el generado cuando reacciona el agua y el cemento. Depende de la composición química del cemento, finura y temperatura de curado.
PERDIDA POR IGNICIÓN	Se determina calentando una muestra de cemento a 900°C ó 1000°C, para obtener un peso constante. Una pérdida por ignición elevada indica prehidratación y carbonatación.
PESO ESPECÍFICO	Del cemento portland generalmente es de 3.15. El de escorias de alto horno y de puzolanas es de 2.90 aproximadamente; no es indicador de la calidad, su uso para proporcionamiento de mezclas.

ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

El cemento portland es un material sensible a la humedad; si se mantiene seco, mantendrá indefinidamente su calidad. Un cemento portland que durante su almacenamiento haya estado en contacto con aire húmedo o con humedad, fraguara más lentamente y tendrá menor resistencia que un cemento que se hubiera mantenido seco. Los sacos de cemento no se deben almacenar sobre pisos húmedos, sino que deben descansar sobre tarimas. Los sacos se deben apilar juntos para reducir la circulación del aire, pero nunca se deben apilar contra las paredes que den hacia el exterior. Los sacos que se almacenen durante periodos prolongados se deberán cubrir con mantas o con alguna otra cubierta impermeable. Los sacos se deberán apilar de manera tal que los primeros en entrar sean los primeros en salir.

El cemento que ha sido almacenado durante periodos prolongados puede sufrir lo que se ha denominado "compactación de bodega". Normalmente esto se corrige rodando los sacos en el suelo. Cuando se use el cemento, deberá fluir libremente y estar exento de terrones. Si los terrones no se desmoronan fácilmente, el cemento deberá probarse antes de ser utilizado en trabajos importantes. Siempre que se tengan dudas en cuanto a la calidad* de algún cemento, deberá practicársele pruebas de resistencia o de pérdida por ignición.

Regularmente el cemento no permanece almacenado mucho tiempo, pero puede almacenarse durante periodos prolongados sin sufrir deterioros. El cemento a granel se debe almacenar en silos o depósitos de acero o concreto impermeables. En los depósitos o silos se debe usar ventilación seca a presión o vibración para que fluya mejor el cemento y para evitar que se rebase la capacidad del mismo. Debido al abultamiento del cemento, los silos pueden solo retener aproximadamente un 80% de la capacidad considerada.

* Es usual escuchar en el ámbito de la construcción que el cemento ha perdido su calidad, por el solo hecho de estar almacenado durante largos periodos, lo cual resulta ser una pifia. La misma se mantendrá si cumple con los requisitos arriba señalados.

CEMENTO CALIENTE

Pruebas han demostrado que el efecto del cemento caliente sobre la trabajabilidad y el desarrollo de la resistencia del concreto no son de consideración. Las temperaturas del agua de mezclado y de los agregados desempeñan un papel mucho más importante al determinar la temperatura del concreto.

-
- 1 ASTM C 150-86 Specification for Portland Cement.
 - 2 ASTM C 595-86 Specification for Blended Hydraulic Cement.
 - 3 ASTM C 115-86 Test Method for Fineness of Portland Cement by the Turbidimeter.
 - 4 ASTM C 204-84 Test Method for Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus.
 - 5 ASTM C 430-83 Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μm (N°325) Sieve.
 - 6 ASTM C 230-83 Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement.
 - 7 ASTM C 191-82 Test Method for time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle.
 - 8 ASTM C 109-86 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement (Using 2-in. or 50 mm Cube Specimens).
 - 9 ASTM C 188-84 Test Method for Density of Hydraulic Cement.
-

CONTROL DE CALIDAD EN LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO

GENERALIDADES DE LOS AGREGADOS

El interés de utilizar el tipo y la calidad adecuados de los agregados, no debe ser subestimada pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60 a 75% del volumen del concreto (70 a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las propiedades de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos consiste en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5mm y 38mm¹. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, consisten en gravas y arena que pueden ser utilizadas en el concreto luego de un tratamiento mínimo. La grava y la arena naturales, usualmente se excava o se dragan de alguna mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, gujarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino. Normalmente los agregados se lavan y se gradúan en la mina o planta. Se puede esperar cierta variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad así como en otras propiedades.

Los agregados para concreto que se encuentran en estado natural, son una mezcla de rocas y minerales (Tabla 3.1.). Un mineral es una sustancia sólida natural que tiene una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites muy estrechos. Las rocas (por su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros minerales; la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita, y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darle un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y

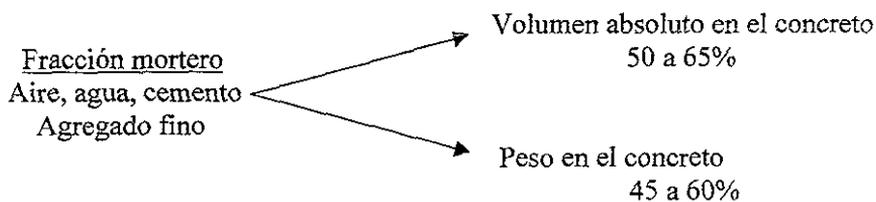
libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquisto o de otras rocas esquistosas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser la causa de defectos en la superficie del concreto tales como erupciones.

TABLA 3.1 Componentes minerales y rocosos de los agregados.

MINERALES	ROCAS IGNEAS	ROCAS METAMORFICAS
Sílice Cuarzo Opalo Calcedonia Tridimita Cristobalita Silicatos Feldespatos Ferromagnesianos Hornblenda Proxena Arcilla Lilitas Caolines Cloritas Montmorillonitas Mica Ceolita Carbonato Calcita Dolomita Sulfato Yeso Anhidrita Sulfato de hierro Pirita Marcasita Pirrotita Oxido de hierro Magnetita Hermatita Goetita Limenita Limonita	Granito Sienita Diorita Gabro Periodotita Pegmatita Vidrio volcánico Obsidiana Piedra pómez Tufa Cagafierro Perlita Vidrio volcánico Petrosilex Basalto ROCAS SEDIMENTARIAS Conglomerado Arenisca Cuarcita Grauvaca Subgrauvaca Arcosa Piedra arcillosa, piedra de aluvión, argilita y arcilla esquistosa Carbonatos Caliza Dolomita Marga Greda Horsteno	Mármol Metacuarcita Pizarra Filita Esquisto Anfibolita Hornfelsa Gneis Serpentina

La identificación de los constituyentes de un agregado, no puede proporcionar por sí sola fundamentos para predecir el comportamiento de los agregados durante su servicio. A menudo la inspección visual revelara debilidades en los agregados gruesos. Los agregados más comúnmente empleados, como arena, grava, piedra triturada y escoria de alto horno enfriada al aire, producen concreto fresco o recién mezclado de peso normal, pesando aproximadamente 2160 a 2560 kg/m³. Los agregados de esquisto, pizarra, arcilla y escoria esponjados se utilizan para producir un concreto ligero estructural con un peso volumétrico fresco que varía aproximadamente de 1440 a 1920 kg./cm³. Otros materiales ligeros, como: piedra pómez, escoria, perlita, vermiculita, y diatomita se usan para producir concretos ligeros aislantes que pesan de 240 a 1440 kg/m³. Para producir concreto muy denso y concreto de brindaje contra la radiación, se usan materiales pesados, como: la barita, limonita, magnetita, ilmenita, hematita, hierro y partículas de acero.

Para alcanzar una consolidación adecuada del concreto, la cantidad deseable de aire, agua, cemento, y agregado fino (es decir la fracción del mortero), es de aproximadamente 50 al 65% del volumen absoluto (45 a 60% en peso). El agregado redondeado, tal como la grava demanda valores ligeramente inferiores, en tanto que los agregados triturados demanda valores ligeramente superiores. El contenido de agregado fino, varía normalmente de 35 a 45% en peso o volumen sobre el contenido total de agregados.



Agregado fino

Representa del 35 al 45% sobre el peso ó volumen total de los agregados

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

Existe una variedad extensa de características por considerar para los agregados, se trataran las comunes, que influyen notablemente en el comportamiento en el concreto.

GRANULOMETRIA

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal y como se determina por análisis de tamices². El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar³ para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla N°.100 (150 micras) hasta 9.52 mm. Los trece tamices estándar para agregado grueso se en listan en la tabla 3-2, tienen aberturas que varían desde 1.18 mm hasta 102 mm.

Los números de tamaño (tamaño de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. La granulometría y los límites de granulometría, se expresan usualmente como porcentaje de material que pasa cada malla. La figura 3.1 muestra estos límites para agregados finos y para un tamaño de agregado grueso.

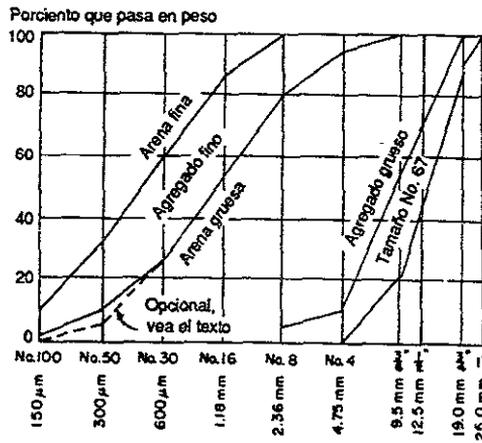


FIG: 3-1. Las curvas indican los límites especificados en la norma ASTM C 33, para agregado fino y para un numero de tamaño (granulometría) de agregado grueso típico.

Existen varias razones por la que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo de agregado. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra. Las arenas muy finas a menudo resultan

TABLA 3-2. Requisitos de granulometría para los agregados gruesos (ASTM C 33).

Numero de tamaño	Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), por ciento en peso													
		100 mm 4pulg	90 mm 3.5pulg	75 mm 3pulg	63 mm 2.5 pulg	50 mm 2 pulg	37.5mm 1.5 pulg	25.0mm 1 pulg	19.0mm ¾ pulg	12.5mm ½ pulg	9.5 mm 3/8 pulg	4.75mm Nº4	2.36mm Nº8	1.18mm Nº16	
1	90 a 37.5 mm	100	90a100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
2	63 a 37.5 mm	-	-	100	90 a100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	
3	50 a 25.0 mm	-	-	-	100	90 a100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	
357	50 a 4.75 mm	-	-	-	100	95 a100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	
4	37.5a 19.0 mm	-	-	-	-	100	90 a100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	
467	37.5a 4.75 mm	-	-	-	-	100	95 a100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	
5	25.0a 12.5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	
56	25.0a 9.5 mm	-	-	-	-	-	100	90 a100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	
57	25.0a 4.75 mm	-	-	-	-	-	100	95 a100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	
6	19.0a 9.5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90 a100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	
67	19.0a 4.75 mm	-	-	-	-	-	-	100	90 a100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-	
7	12.5a 4.75 mm	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	
8	9.5a 2.36 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	

antieconómicas; las arenas muy gruesas y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas, no trabajables. En general, aquellos agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.

El efecto de un conjunto de tamaños para reducir el volumen total de vacíos entre agregados se ilustra por el método simple mostrado en la figura 3-2. El recipiente de la izquierda se llena con partículas grandes de agregado de tamaño y formas uniformes; el recipiente de en medio se llena con igual número de partículas pequeñas de agregado de tamaño y formas uniformes. El recipiente de la derecha se llena con partículas de ambos tamaños. Bajo cada

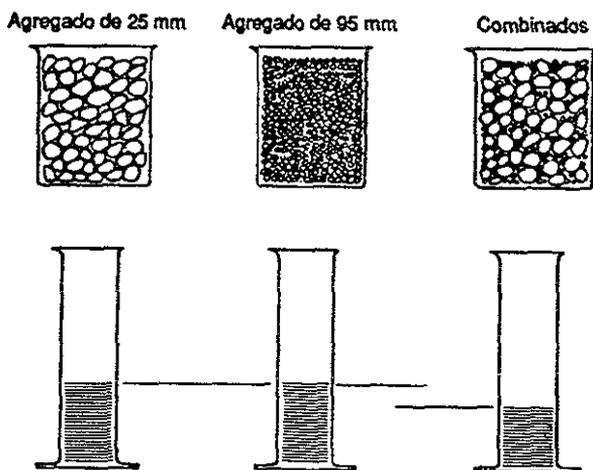


FIG. 3-2. El nivel de líquido en las probetas, que representa a los vacíos, es constante para iguales volúmenes absolutos de agregado con tamaño uniforme aunque distinto. Cuando los distintos tamaños se combinan, la cantidad de vacíos disminuye. El dibujo no se presenta a escala.

recipiente se encuentra una probeta graduada con la cantidad de agua requerida para llenar los vacíos en el recipiente. Hay que observar que cuando los recipientes han sido llenados con un tamaño de partículas de igual volumen, el contenido de vacíos es constante, sin importar el tamaño de cada partícula. Cuando se combinan los dos tamaños de agregados, el contenido de vacíos disminuye. Si esta operación se repitiera con varios tamaños adicionales, ocurrirá una disminución de vacíos. La demanda de pasta de

cemento en el concreto es proporcional al contenido de vacíos de los agregados combinados.

Durante los primeros años de tecnología del concreto, a veces se suponía que el porcentaje mínimo de vacíos (la máxima densidad de los agregados), era lo mas adecuado para el concreto. Al mismo tiempo, se colocaban limites sobre la cantidad y el tamaño de las partículas más pequeñas. Actualmente se sabe que, aún siguiendo esta base, no se trata del mejor objetivo para el diseñador de mezclas. Sin embargo, la producción de un concreto satisfactorio y económico, requiere de agregados con un bajo contenido de vacíos, pero sin llegar al mínimo.

La cantidad necesaria de pasta de cemento es mayor que el volumen de vacíos que existe entre los agregados. Esto se ilustra en la figura 3-3. El dibujo A representa solamente los agregados grandes, con todas las partículas en contacto. El dibujo B representa la distribución de agregados en una matriz de pasta. La cantidad de pasta es necesariamente mayor que el contenido de vacíos de A para proporcionarle trabajabilidad al concreto, y la cantidad depende de la trabajabilidad y la cohesividad de la pasta.

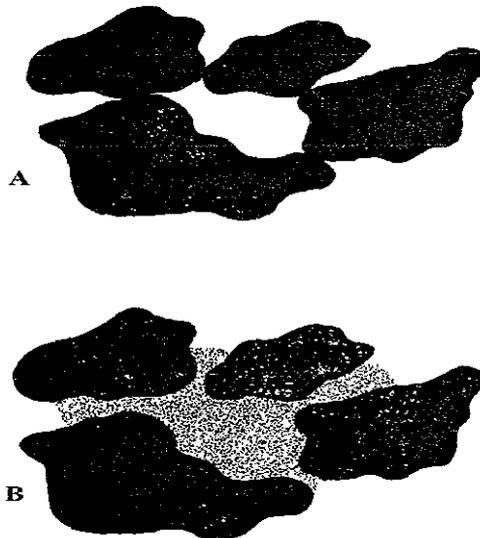


FIG. 3-3 Dispersión de los agregados en mezclas cohesivas de concreto

Granulometría de los agregados finos.

La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados grueso de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C 33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma anterior con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación.

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100
1.18 mm (N°16)	50 a 85
0.60 mm (N°30)	25 a 60
0.30 mm (N°50)	10 a 30
0.15 mm (N°100)	2 a 10

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (N°50) y de 0.15 mm (N° 100) sean reducidos a 5% y 0%, respectivamente.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (N°50) y de 0.15 mm (N°100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla 0.30 mm (N°50). El límite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en los casos de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concreto acabados a mano o donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase por la malla de 0.30 mm (N°50) y al menos un 3% que pase la malla de 0.15 mm (N°100).

El módulo de finura (MF) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son la de 0.15 mm (N°100), 0.30 mm (N°50), 0.60 mm (N°30), 1.18 mm (N°16), 2.36 mm (N°8), 4.75 mm (N°4), 9.52 mm (3/8”), 19.05 mm (3/4”), 38.10 mm (1 1/2”), 76.20 mm (3”), y 152.40 mm (6”). El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías pueden tener igual módulo de finura. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y grueso de las mezclas de concreto. A continuación se presenta un ejemplo de la determinación del módulo de finura de un agregado fino con un análisis de mallas supuesto:

Tamaño de la malla	Porcentaje de la fracción individual retenida en peso *	Porcentaje acumulado que pasa en peso	Porcentaje acumulado retenido, en peso
9.52 mm (3/8)	0	100	0
4.75 mm (N°4)	4	96	4
2.36 mm (N°8)	14	82	18
1.18 mm (N°16)	17	65	35
0.60 mm (N°30)	21	44	56
0.30 mm (N°50)	23	21	79
0.15 mm (N°100)	19	2	98
Charola	2	0	-
Total	100		290
			Módulo de finura = 290/ 100 = 2.90

Granulometría de los agregados gruesos

La granulometría para un agregado grueso con un tamaño máximo puede variar dentro de un rango moderado, sin que se produzca un efecto apreciable en la demanda de cemento y agua si la proporción de agregado fino a agregado total produce un concreto de buena trabajabilidad. Para producir un concreto trabajable se deberán cambiar las proporciones de mezcla si ocurren fuertes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de anticipar, a menudo es más económico mantener uniformes el manejo y la manufactura del agregado grueso, de modo que se reduzcan las variaciones en la granulometría.

* Porcentaje de material retenido entre mallas consecutivas. Por ejemplo el 14% de la muestra es retenido entre la malla de 4.75 (N°4) y de 2.36 (N°8)

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. En la figura 3-4. Se muestra el agua y cemento necesarios, para un revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso. La figura muestra que, para una relación agua cemento dada, la cantidad necesaria de cemento disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo de agregado grueso. El costo superior para obtener o manejar agregados mayores de 50 mm, pueden compensar el ahorro al utilizar menos cemento. Además de esto, los agregados de tamaños máximos distintos, pueden proporcionar resistencias de concreto ligeramente distintas para la misma relación agua-cemento. En ciertos casos, con la misma relación agua-cemento, el concreto con el menor tamaño máximo de agregado tiene una mayor resistencia a la compresión. Esto es especialmente cierto en el concreto de alta resistencia.

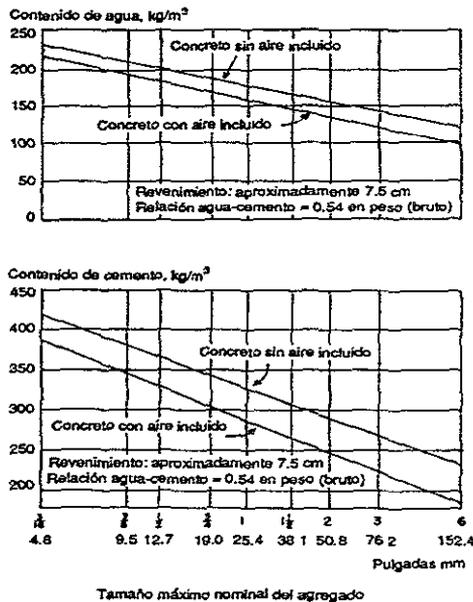


FIG. 3-4. Contenidos de agua y cemento en relación con T.M.A., para concreto con aire y concreto sin aire incluido. En las mezclas que tienen agregado grande se requiere de menos cemento y agua.

El tamaño máximo óptimo de agregado grueso para rangos de altas resistencias depende de la resistencia relativa de la pasa de cemento, de la adherencia agregado-cemento, y de la resistencia de las partículas del agregado.

La terminología empleada para especificar el tamaño del agregado grueso, se debe escoger adecuadamente. El tamaño de la partícula se determina por el tamaño de malla y se aplica al agregado que pasa por esa malla y que no pasa la siguiente malla inferior. Cuando se habla de una clasificación de tamaños de partícula, se usa el número de tamaño de la granulometría (o tamaño de granulometría). El número de tamaño se aplica a la cantidad de agregado que pasa a través de un arreglo de mallas, como se muestra en la fig.3-5 y como se indica en la tabla 3-2, la cantidad de agregado que pasa las mallas respectivas está en por ciento y también se denomina análisis de mallas.



FIG. 3-5. Granulometría de agregado grueso en el laboratorio.

Debido a la costumbre, a veces hay confusión sobre lo que se quiere decir con el tamaño máximo del agregado. Definiendo este término y diferenciándolo del tamaño máximo nominal del agregado, se dice, el tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual todo el

agregado debe pasar. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el de menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5 al 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. de 90 a 100% de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla de 25 mm.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo⁴. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

- a) 1/5 de la separación menor entre los lados de la cimbra, ni de
- b) 1/3 del peralte de la losa, ni de
- c) 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas o los alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de presfuerzo.

Las limitantes en el tamaño de los agregados se proporcionan con el fin de asegurar que las varillas queden firmemente ahogadas y minimizar la segregación; estos requisitos se pueden rebasar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen alveolados ni vacíos.

FORMA DE PARTICULA Y TEXTURA SUPERFICIAL

La forma de partícula y la textura superficial de un agregado influye más en las propiedades del concreto fresco, que en las propiedades del concreto endurecido. Para producir un concreto trabajable, las partículas elongadas, angulares, de textura rugosa necesitan más agua que los agregados compactos, redondeados y lisos. En consecuencia, las partículas de agregado que son angulares, necesitan un mayor contenido de cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Sin embargo, con una granulometría satisfactoria, los agregados triturados y no triturados (de los mismos tipos de roca) generalmente dan la misma resistencia para el mismo factor de cemento. Los agregados pobremente graduados o angulares pueden ser también más difíciles de bombear.

La adherencia entre la pasta de cemento y un agregado generalmente



aumenta a medida que las partículas cambian de lisas y redondeadas a rugosas y angulares. Este incremento en adherencia se debe considerar al seleccionar agregados para concreto en que sea importante la resistencia a la flexión o donde sea necesaria una alta resistencia a la compresión.

Los contenidos de vacíos del agregado compactado fino o grueso, se puede usar como un índice de las diferencias en la forma y textura de agregados con igual granulometría. La demanda de agua de mezclado y de mortero tiende a aumentar a medida que aumenta el contenido de vacíos del agregado. Los vacíos entre las partículas de agregado se incrementan con la angularidad del agregado.

El agregado debe estar libre de partículas planas y elongadas. Las partículas planas y elongadas se deben evitar o al menos limitar a aproximadamente un 15% del peso total del agregado. Este requisito es igualmente importante para agregado grueso y para agregado fino triturado, por que el agregado fino producido triturado-piedra contiene a menudo partículas planas y elongadas. Tales partículas de agregado hacen necesario un incremento en el agua de mezclado, pudiendo afectar de esta forma la resistencia del concreto, particularmente a la flexión, si no se ha conservado la relación agua-cemento.

PESO VOLUMETRICO Y VACIOS

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad de masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m³ a 1760 kg/m³. El contenido de vacíos entre las partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30 a 45% para los agregados gruesos hasta 40 a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hace disminuir el contenido de vacíos.

PESO ESPECIFICO

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el

agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque en ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9*.

El peso específico de un agregado se puede determinar considerando que ha sido secado al horno totalmente o que se encuentra saturado y superficialmente seco (SSS). Ambos pesos específicos se pueden utilizar en los cálculos para el proporcionamiento de mezclas de concreto. Los agregados secados en el horno, no contienen ninguna cantidad de agua libre o absorbida. Se les seca al horno hasta obtener peso constante. Los agregados saturados y superficialmente secos son agregados en los cuales los poros en el interior de cada partícula de agregado han quedado llenos de agua y no contienen agua en exceso en la superficie de la partícula.

ABSORCION Y HUMEDAD SUPERFICIAL

La absorción y humedad superficial de los agregados, sirve para determinar y controlar el contenido neto de agua a utilizar en el concreto, y poder establecer los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se muestran en la figura 3-6. Se designa como:

1. Secado al horno - completamente absorbentes
2. Secados al aire - secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes
3. Saturados y superficialmente secos (SSS) – no absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto
4. Húmedos – contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre)

* La densidad del agregado usada en los cálculos de proporcionamiento de mezclas (sin incluir vacíos entre las partículas) se determina multiplicando el peso específico por la densidad del agua. El valor de la densidad del agua normalmente empleado es de 1000 kg/m³



FIG. 3-6. Condiciones de humedad de los agregados

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las Condiciones de humedad de los agregados de manera que cubra los requisitos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y otras propiedades variarán de una revoltura a otra. El agregado grueso y fino generalmente tiene niveles de absorción (contenidos de humedad en estado SSS) dentro de los rangos de 0.2% a 4% y 0.2% a 2% respectivamente. Los contenidos de agua libre, normalmente varían desde 0.5% hasta 2% para el agregado grueso y desde 2% hasta 6% para el agregado fino. El contenido máximo de agua de un agregado grueso drenado, usualmente es menor que el de un agregado fino. La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido de humedad drenado máximo, aproximadamente de 3% a 8%, mientras que los agregados gruesos solo pueden mantener aproximadamente de 1% a 6%.

El abundamiento, es el aumento de volumen total de agregado fino húmedo respecto al mismo peso seco. La tensión superficial en la humedad mantiene separadas las partículas, provocando un aumento de volumen. El abundamiento de los agregados finos, ocurre cuando se traspalean o se mueven de cualquier otra forma en condición húmeda, aunque antes hayan sido consolidados totalmente. Las granulometrías finas abundan más que las granulometrías gruesas para una cantidad dada de humedad. La figura 3-7. muestra información similar en términos del peso para un agregado fino en particular. Puesto que la mayoría de los agregados finos se entregan en condición húmeda, puede ocurrir grandes variaciones en las cantidades para las mezclas si se hace la dosificación de acuerdo con el volumen. Por esta razón la buena práctica ha favorecido con mucho que el agregado sea pesado y se le ajuste por contenido de humedad cuando se dosifica un concreto.

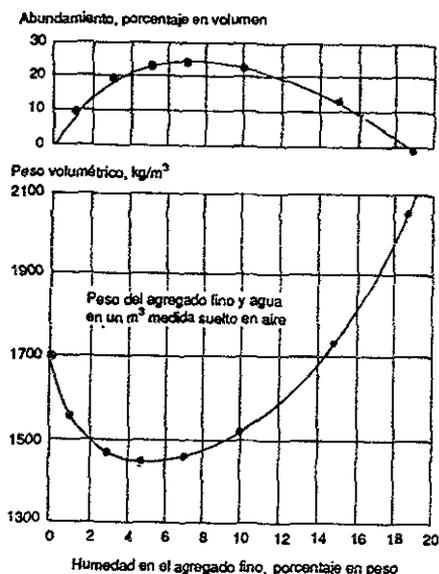


FIG. 3-8 Comparación del peso volumétrico suelto y del aumento de volumen, contra el contenido de humedad para una arena en particular.

RESISTENCIA AL DESGASTE Y AL DERRAPAMIENTO

La resistencia al desgaste de un agregado a menudo se emplea como índice general de su calidad. La resistencia al desgaste es esencial cuando el agregado se emplea para producir concretos sujetos a abrasión, como ocurre en los pisos para servicio pesado o en los pavimentos. Una resistencia baja al desgaste en el agregado puede incrementar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y consecuentemente elevar la demanda de agua.

La prueba más común para determinar la resistencia al desgaste, es la prueba de Los Angeles (método del tambor giratorio), desarrollada de acuerdo con la norma⁵. En esta prueba, se coloca una cantidad de agregado especificada dentro de un tambor de acero que contiene bolas de acero, se pone a rotar el tambor, y se mide el porcentaje de material desgastado. Las especificaciones fijan a menudo un límite superior para esta pérdida de peso. Sin embargo, la comparación de resultados de pruebas de desgaste de agregados con la resistencia al desgaste del concreto hecho con el mismo agregado

generalmente no muestra una correlación clara. La pérdida de peso debida al impacto a menudo es tanta como la debida al desgaste. La resistencia al desgaste de un concreto, se determina con mayor exactitud por medio de pruebas de abrasión en el concreto mismo.

Para suministrar una buena resistencia al derrapamiento en los pavimentos, el contenido de partículas silíceas del agregado fino deberá ser al menos el 25%. Para propósitos de especificación, el contenido de partículas silíceas se considerara igual al contenido de residuo insoluble después de un tratamiento en ácido clorhídrico bajo condiciones normalizadas. Algunas arenas manufacturadas producen superficies de pavimentos resbalosas y se deben investigar para aceptarlas antes de ser utilizadas.

MATERIALES PERJUDICIALES Y REACTIVIDAD

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados, se incluyen principalmente las impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquistos, óxido de hierro, carbón mineral, lignito y algunas partículas suaves y ligeras. Además, ciertas rocas y minerales tales como algunos horstensos, el cuarzo deformado y ciertas calizas dolomíticas son reactivas con los álcalis. El yeso y la anhidrita pueden provocar ataque de sulfatos. Algunos agregados, como ciertos esquistos, producirán erupciones al expandirse simplemente por haber absorbido agua o por el congelamiento del agua presente.

Los agregados son potencialmente dañinos si contienen compuestos que reaccionen químicamente con el concreto de cemento portland y que produzcan (1) cambios significativos en el volumen de la pasta o del agregado o de ambos, (2) interferencia en la hidratación normal del cemento, y (3) otros productos secundarios dañinos.

Sinopsis de las Propiedades y Pruebas de los agregados

Propiedad	Importancia	Requisitos o características reportadas
Granulometría	Trabajabilidad del concreto en estado fresco y en servicio; economía	Porcentaje máximo y mínimo que pasan las mallas especificadas
Forma de partícula y textura superficial	Trabajabilidad del concreto en estado fresco y en servicio; economía	Porcentaje máximo de partículas planas y elongadas
Peso volumétrico y vacíos	Cálculos para el diseño de mezclas.	Los vacíos afectan la demanda de mortero.
Peso específico	Cálculo para el diseño de mezclas	Generalmente no se emplea como índice de calidad del agregado

Propiedades	Importancia	Requisitos ó características reportadas
Absorción y humedad superficial	Calculo para el diseño de mezclas, establece los pesos correctos en las mismas.	Determina y controla el contenido neto de agua a utilizar en el concreto.
Resistencia al desgaste y derrapamiento	Indice general de calidad del agregado; resistencia al desgaste.	Producir concretos sujetos a abrasión.
Materiales perjudiciales y Reactividad	Influye en la calidad del diseño de la mezcla, por consiguiente en el concreto también.	Cambios de volumen de la pasta y/o agregado, interferencia en la hidratación normal del cemento.

BANCOS DE MATERIALES

Durante muchos años la detección de bancos de materiales dependió de métodos exploratorios comunes, desde la simple observación en el terreno, hasta el empleo de pozos a cielo abierto, posteadoras, barrenos y aun máquinas perforadoras. En la época actual, los estudios geofísicos son de gran potencialidad en estas cuestiones, ya que han venido a sumarse a la técnica disponible, ahorrando mucho tiempo y esfuerzo humano y mucha exploración.

La tabla 3-3. puede servir para proporcionar una valuación preliminar de los diferentes tipos de agregados, en cuanto a sus características como materiales para la elaboración de concreto; un buen diagnóstico definitivo, depende de otros factores específicos que no es posible a emitirlo en ningún caso particular sólo con base en la información contenida en la tabla.

TABLA 3-3. Características de algunas rocas como materiales para elaboración de concreto.

Roca	Método de excavación Requerido	fragmentación
Granito Diorita	Explosivos	Fragmentos irregulares, que dependen del uso de los explosivos.
Basalto	Explosivos	Fragmentos irregulares, que dependen de las juntas y grietas.
Arenisca	Equipo o explosivos	En lajas dependiendo de la estratificación.
Conglomerado	Equipo o explosivos	Exceso de finos, dependiendo del cementante.
Caliza Masiva	Explosivos	Fragmento irregulares; muchas veces, lajas.
Cuarcita	Explosivos	Fragmentos irregulares, muy angulosos.
Pizarras Esquisto	Explosivos	Fragmentos irregulares o lajeados, según la foliación.

Gneis	Explosivos	Fragmentos irregulares, muchas veces alargados.
Desechos industriales Y de minas	Equipo	Depende del material, pero en la mayoría de los casos es irregular.

Cada caso requiere la realización de pruebas de campo y de laboratorio sobre las rocas que forman el banco de estudio. La mejor prueba de campo, es quizá, la duplicación de un proceso de excavación análogo al que después se usará en forma masiva, para ver objetivamente qué material se obtiene; ésta será, necesariamente, una prueba de escala suficientemente grande, como para ser objetiva.

La posibilidad de deterioro de la roca con el tiempo es mucho más difícil de establecer. Quizá la mejor orientación pueda tenerse observando lugares en que la roca haya estado expuesta durante mucho tiempo.

LOCALIZACION DE BANCOS

Los aspectos prácticos son tan importantes, como aquellos que se refieren al desarrollo de criterios y técnicas para la localización de bancos de materiales. Localizar un banco es más que descubrir un lugar donde exista un volumen alcanzable y explotable de agregados que puedan emplearse en la elaboración de concreto. El proyecto tiene otras muchas implicaciones. Ha de garantizarse que los bancos elegidos son los mejores entre todos los disponibles en varios aspectos que se interrelacionan. En primer lugar, en lo que se refiere a la calidad de los materiales extraíbles, juzgada en relación estrecha con el uso a que se dedicarán. En segundo lugar, tiene que ser lo más fácilmente accesibles y los que se puedan explotar por los procedimientos más eficientes y menos costosos. En tercer lugar, tienen que ser los que produzcan las mínimas distancias de acarreo.

La búsqueda y localización de bancos de materiales puede hacerse principalmente por fotointerpretación o por reconocimientos terrestres directos; estos últimos pueden auxiliarse, a su vez, por la fotointerpretación o por métodos de prospección geofísica.

La fotointerpretación ofrece un método para explorar grandes áreas a bajo costo, en forma que fácilmente puede equivaler en precisión a un reconocimiento terrestre, especialmente si la institución que busca los bancos utiliza geólogos bien entrenados en la aplicación de este método; de hecho éste es sin duda, uno de los aspectos en que la geología aplicada contribuye eficazmente.

FOTOINTERPRETACION Y PROSPECCION GEOFISICA

Los mapas geológicos constituyen una información básica para el proyecto de explotación de bancos de materiales. Con trabajo de campo o fotointerpretación de pares estereoscópicos de aerofotografías pueden determinarse los tipos de formaciones de suelos y rocas, así como sus límites y secuencias, lo cual proporcionara la primera idea en relación con las propiedades mecánicas de los materiales existentes. Las técnicas de fotointerpretación se han incorporado más al conjunto de estudios para el proyecto de explotación, los principales datos que es posible obtener de estos estudios son los siguientes:

- Topografía de la zona, incluyendo facilidades de acceso.
- Datos climáticos y relacionados con el clima, tales como vegetación, humedad, etc.
- Descripción general de rocas y suelos.

Conviene realizar los trabajos de fotointerpretación sobre fotografías a escalas crecientes en por lo menos dos y quizá en tres etapas de trabajo sucesivas, la escala 1:50 000 es apropiada para la primera etapa y las escalas 1: 25 000 y 10 000 son convenientes para ajustar dicha información, completado el trabajo es necesario verificar en campo para ratificar o rectificar las conclusiones obtenidas.

Exploración directa e indirecta

La exploración directa para determinar los bancos de materiales, consistirá básicamente en la ejecución de pozos a cielo abierto, sondeos con posteadora, barrenos helicoidales u otros métodos análogos de exploración preliminar. La profundidad de exploración debe ser tal que se supere el espesor de suelos meteorizados superficiales y se llegue a los materiales con condiciones de estabilidad; en la practica estos requerimientos se cumplen generalmente explorando profundidades del orden de 1 m ó 1.5 m, aun cuando las profundidades algo mayores suelen quedar dentro de las posibilidades económicas.

Los métodos de exploración indirecta pueden distinguir grandes extensiones de materiales con una precisión eficiente. El cual se puede medir en la superficie y se correlaciona con la estructura subterránea basándose en métodos geofísicos de prospección.

Los métodos que se utilizan en la actualidad son los siguientes:

- Magnético
- Gravimétrico
- Radiactivo
- Geotérmico
- Sísmico
- Eléctrico

De estos métodos, los dos últimos son, los más usados en la tecnología para determinar bancos de materiales.

Método Sísmico.- El método se basa en las diferencias de velocidades de propagación de las ondas elásticas en medios de constitución diferente. Por lo general los diferentes materiales tienen densidades y pesos específicos bastante parecidos; en cambio los módulos elásticos son muy distintos; la velocidad de propagación de las ondas elásticas depende mucho del módulo de elasticidad y se correlacionan con él en forma bastante confiable, por lo que las medidas de propagación pueden poner en evidencia cambios en la naturaleza de los materiales y estratificaciones.

Para el método sísmico se provocan las ondas elásticas por medios artificiales, tales como impactos o explosiones. Las vibraciones que transmite el suelo se recogen en aparatos sensibles capaces de registrarlas e inscribirlas, llamados sismógrafos o geófonos. Si se colocan varios de éstos a diferentes distancias de la perturbación se podrán medir los distintos tiempos de llegada; los geófonos están separados a distancias que oscilan entre 15 y 30 m.

Método eléctrico.- El método está basado en las diferencias de conductividad eléctrica que presentan los materiales en el subsuelo, las cuales son comparadas con otras características geológicas y mecánicas. La resistividad de las rocas ígneas sanas es mucho mayor que la de los suelos saturados sueltos; algunos depósitos sedimentarios secos pueden tener resistividad bastante altas. En general, la resistividad depende principalmente de la cantidad y salinidad de agua contenida en el subsuelo y, en menor grado, de la composición mineralógica de los suelos y las rocas.

El método consiste en producir un campo eléctrico en el terreno por medio de dos electrodos de corriente; midiendo la corriente y la diferencia de tensión entre dos electrodos de potencial puede medirse la resistividad en un punto situado entre los electrodos de potencial y una profundidad igual a la distancia entre estos.

EXPLORACION Y MUESTREO DE BANCOS

La exploración de una zona en la que se pretenda establecer un banco de materiales debe tener las siguientes metas:

1. Determinación de la naturaleza del depósito, incluyendo toda la información que sea posible obtener sobre su geología, historia de explotaciones previas, relaciones con escarmentos superficiales, etcétera.
2. Profundidad, espesor, extensión y composición de los estratos de roca que se pretende explotar.
3. Situación de agua subterránea, incluyendo posición y variaciones del nivel freático
4. Obtención de toda la información posible sobre las propiedades de las rocas, y los usos que se den ellas sean hecho y se realizaran a futuro.

La investigación completa está formada por tres etapas:

1. Reconocimiento preliminar, que debe incluir la opinión de un geólogo. En esta etapa debe considerarse esencial el contar con el estudio geológico de la zona, por sencillo que sea.
2. La exploración preliminar, en la que por medio de procedimientos simples y expeditos, pueda obtenerse información sobre el espesor y la composición del subsuelo, la profundidad del agua freática y demás datos que permitan, en principio, definir si la zona es prometedora para la implantación de un banco de las características del que se busca y si, por consiguiente, conviene continuar la investigación sobre ella.
3. La exploración definitiva, en la que por medio de sondeos y pruebas de laboratorio han de definirse detalladamente las características ingenieriles de las rocas encontradas.

Un informe geológico debe incluir datos sobre los siguientes puntos:

Rocas.- Clasificación petrográfica; descripción morfológica; grado de meteorización; clasificación y descripción de fracturas, grietas, fallas, etc.; espesor de materiales de recubrimiento no aprovechables; recomendaciones generales para la estabilidad de cortes.

Suelos.- Origen, espesor, compacidad, plasticidad y contenidos medios de agua y materia orgánica. Será útil la información sobre variaciones en las

direcciones vertical y horizontal, y las recomendaciones generales sobre la utilización como material para la elaboración de concreto.

En bancos de roca, lo normal es atenerse en mucho a los resultados del reconocimiento preliminar, extrayendo de él normas de juicio en cuanto a la extensión del banco y al volumen del material disponible; la razón es que la exploración en roca requiere del uso de métodos rotatorios, con máquinas de perforación, todo lo cual resulta costoso y no suele considerarse necesario más que en casos importantes en que existan incertidumbres de consideración.

TRATAMIENTOS

Los materiales procedentes de bancos que van a ser usados en la elaboración de concreto deben cumplir las especificaciones que se señalen, generalmente los agregados se someten a diversos tratamientos que los adecuen a sus funciones. Los tratamientos más usuales son:

1. Eliminación de desperdicios

Se trata, por ejemplo, de eliminar en bancos un determinado porcentaje de partículas cuyo tamaño máximo sobrepase el que se haya considerado en el proyecto.

2. Disgregación

Esta operación se hace generalmente en bancos de roca muy alterada. La disgregación se hace muchas veces con arados y cuchillas dispuestas en las máquinas o con rodillos de compactación del tipo de pata cabra o similar.

3. Cribado

Generalmente se utiliza para lograr en un material de naturaleza friccionante una granulometría adecuada o para eliminar porcentajes altos de partículas mayores que el tamaño máximo requerido; se ha establecido que porcentajes arriba de 10 ó 15% conviene eliminarlos cribando.

Las instalaciones de cribado para eliminación de tamaños grandes suelen ser muy sencillas. Normalmente el material se maneja por gravedad, recogiendo en un camión el material que pasa una criba determinada. Este método tiene peligros de segregación que conducen a la obtención de materiales no uniformemente mezclados. Cuando se requiere una buena dosificación de materiales de diversos tamaños ha de recurrirse a plantas de cribado, con cribas vibratorias, dispuestas en dos o tres niveles; el ritmo de vibración suele ser de 1200 ciclos por minuto. Estas plantas se utilizan generalmente en combinación con equipos de trituración.

4. trituración

Es el tratamiento a que generalmente se recurre para llegar a la granulometría adecuada a partir de materiales naturales muy gruesos o fragmentados. Es normal realizar la trituración en varios pasos o etapas, según el producto final a que se desea llegar; así se habla de trituradoras primarias, secundarias o terciarias.

La trituración suele realizarse en plantas muy completas que incluyen alimentadores, bandas de transportación, plantas de cribado, elevadores de materiales y dispositivos trituradores de quijada, de impacto, de rodillo de diferente separación, etcétera.

Es importante la relación de tamaños de las partículas en las etapas iniciales y final del proceso, que define el tipo de equipo que he de usarse y el costo de la operación. Es importante aquí la forma que adquieren las partículas trituradas, pues de ellas depende mucho el comportamiento mecánico posterior.

Es usual hablar de trituración total o parcial, denotando la intensidad del proceso requerido en un caso dado.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

El uso de material contaminado y de pobre granulometría, sólo puede ocasionar dificultades. Problema de rendimiento alto o bajo, de resistencia baja, y de deterioro, resultan a menudo del almacenamiento y manejo pobre de los materiales. Los agregados deben ser manejados y almacenados de tal forma que la segregación y la degradación sean mínimas y que se evite la contaminación con sustancias deletéreas.

Los agregados han de mantenerse tan uniformes como sea posible en cuanto a la granulometría y contenido de humedad, y protegerse de la contaminación. En la fig. 3-9 se señalan algunas recomendaciones para el manejo de materiales.

PILAS DE ALMACENAMIENTO DE AGREGADO

Los montones de material deben quedar formados en capas delgadas de espesor uniformes para minimizar la segregación. El método más económico y aceptable para formar montones de material es el de volteo con camión, en que se descargan las cargas de modo que se les mantiene juntas estrechamente. Los montones se deben construir en capas horizontales o suavemente inclinadas. Sobre los montones no deben operarse camiones,



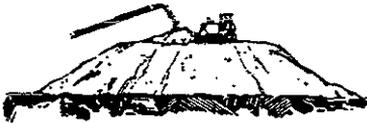
PREFERIBLE

Grúa u otro medio de apilar el material en montones no mayores de las cargas de un camión, permanece en su lugar sin deslizarse.



OBJETABLE

Métodos que permiten al agregado deslizarse tan pronto se añade a la pila, o permite que el equipo de acarreo opere repetidamente en el mismo nivel.



ACEPTABILIDAD LIMITADA-GENERALMENTE OBJETABLE

Pila construida en capas horizontales por un "bulldozer" ó cargador frontal trabajando con materiales descargado por una banda transportadora.

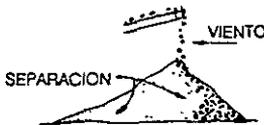


"bulldozer" que apila capas progresivas en pendientes menores que 3:1. A menos que los materiales sean muy resistentes a quebrarse, estos métodos también son objetables.



CORRECTO

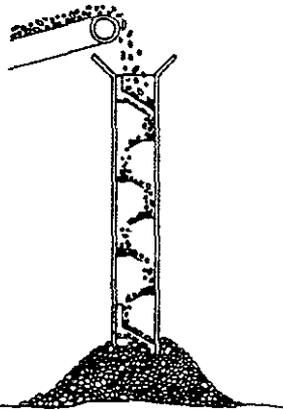
Chimenea que rodea los materiales que caen del final de una banda transportadora para evitar que el viento separe los materiales finos y gruesos. Tiene abertura tal como se necesita para descargar materiales a varias elevaciones en la pila.



INCORRECTO

La caída libre de material desde un extremo alto de la banda transportadora permite que el viento separe el material fino del grueso.

ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO FINO NO PROCESADO
(materiales secos)



Cuando se aplican agregados de gran tamaño desde bandas transportadoras elevadas, se reducen al mínimo las fracturas usando una conducción de escalera.

ALMACENAMIENTO DE AGREGADO PROCESADO

FIG. 3-9 Los métodos incorrectos al almacenar agregados causan segregación y rotura de partículas

cargadores, bulldozer, u otros vehículos, puesto que además de quebrar el agregado, a menudo dejan tierra sobre los depósitos.

Si los agregados se van almacenar en pilas sobre tierra, el piso correspondiente debe estar pavimentado, o en su defecto, ponerse tabloncillos sobre el suelo, o dejar de remover una capa inferior de varios centímetros de espesor de material. De todas maneras, deben nivelarse y apisonarse el terreno. No se ha de permitir que el cucharón de una grúa que contenga otros agregados de materiales se balancee sobre la pila de agregado. Las pilas de agregado deberán de levantarse en capas para impedir la segregación de tamaños y tomarse el material de ellas de tal manera que el agregado no se deslice por las paredes hasta el borde de la pila. El manejo excesivo tiende a causar segregación y degradación. Hay que buscar que las pilas adyacentes queden claramente, ya sea por espacio amplio o por separaciones, bien definidas y que los agregados provenientes de diferentes fuentes no se mezclen o almacenen en la misma pila, por esta practica puede causar variación objetable en el concreto. Cada agregado deberá utilizarse hasta que se acabe, para el agregado siguiente se han de ajustar las proporciones si es necesario. Se prefiere, con mucho, la medición por separado, a la combinación de materiales por medio de cucharones de almeja o de bulldozers. Los resultados obtenidos con estos últimos métodos rara vez son suficientemente uniformes y confiables.

No es buena práctica la que se permite que el agregado caiga desde la altura en forma tal que las partículas más grandes vayan más allá de las más pequeñas, o sean separadas por el viento según su tamaño. Si la altura de caída del agregado es grande se deben utilizar pantallas o conductos escalonados para romper la caída (fig.3-9), e impedir de esta manera segregación y roturas excesivas. La segregación del agregado fino que este lo suficientemente seco como para fluir libremente, puede reducirse humedeciéndolo.

CONTROL DE HUMEDAD

Se debe asegurar un contenido de humedad estable en el agregado cuando éste se dosifique. El uso de agregados que tienen cantidades variables de agua libre, es una de las causas más frecuentes de la perdida 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. La experiencia demuestra que un contenido libre de humedad hasta del 6%, y de vez en cuando hasta del 8%, se mantendrá estable el agregado fino.

MUESTRAS PARA PRUEBAS

Las muestras representativas de los diferentes tamaños de agregado que se dosifican se deben tomar lo más cerca posible del punto de su introducción al concreto. La dificultad de conseguir muestras representativas aumenta con el tamaño del agregado.

Es buena práctica mantener un promedio registrando 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 se puede emplear tanto para el control de calidad como para dosificar la muestra.

-
- 1 ASTM C 125-86 Definitions of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregate.
 - 2 ASTM C 136-84 Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate.
 - 3 ASTM C 33-86 Specification for Concrete Aggregates.
 - 4 ACI R 95 Reglamento para las construcciones de concreto estructural y comentarios. Capítulo 3.
 - 5 ASTM C 131/535-86 Test Method for Resistance to Degradation of Small (Large)- Size Coarse Aggregate by Abrasion And Impact in the Los Angeles Machine.
-

AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO

El agua empleada en el mezclado del concreto deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el refuerzo.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

En la tabla 4.1 se presentan seis análisis típicos, de suministros de agua de algunas ciudades y de agua de mar*. El agua proveniente de cualquiera de estas fuentes es adecuada para producir concreto. Una fuente de abastecimiento cuyo análisis sea parecido a alguno de las aguas que aparecen en la tabla será probablemente satisfactoria para ser utilizada en el concreto.

Tabla 4-1. Análisis típicos de suministros de agua a ciudades y de agua de mar, ppm.

Productos Químicos	Análisis N°.						Agua de mar**
	1	2	3	4	5	6	
Sílice(SiO ₂)	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0	-
Hierro(Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	-
Calcio(Ca)	5.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3	50-480
Magnesio(Mg)	1.4	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3	260-1410
Sodio(Na)	1.7	16.1	2.3	183.0	215.0	1.4	2190-12,200
Potasio(K)	0.7	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2	70-550
Bicarbonato	14.0	35.8	122.0	334.0	549.0	4.1	-
Sulfato(SO ₄)	9.7	59.9	5.3	121.0	11.0	2.6	580-2810
Cloruro(Cl)	2.0	3.0	1.4	280	22.0	1.0	3960-20,000
Nitrato(NO ₃)	0.5	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0	-
Sólidos dis. tot	31.0	250.0	125.0	983.0	564.0	19.0	35,000

** Los diferentes mares contienen distintas cantidades de sales disueltas.

Del agua que se tengan dudas, se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero¹, producidos con ella alcanzan resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de la prueba de resistencia deben hacerse en morteros idénticos, el agua de mezclado siempre se utilizara de la misma fuente. Además se deberán realizar ensayos para asegurar que las impurezas en el agua no afecten el tiempo de fraguado del cemento acortándolo o prolongándolo. En la norma ASTM C 94² se proponen criterios de aceptación para el agua que será empleada en el concreto (ver Tabla 4.2).

* Estas aguas semejan en su composición la de suministros de agua de doméstica para la mayor parte de ciudades con más de 20,000 habitantes en los Estados Unidos y Canadá.

Tabla 4.2 Criterios de aceptación para suministros de aguas dudosas (ASTM 94)

	Limites
Resistencia a la compresión a 7 días, porcentaje mínimo respecto al testigo	90
Tiempo de fraguado, desviación con respecto al testigo, hr:mín.	De 1:00 antes a 1:30 después.

Nota: Las comparaciones deberán basarse en proporcionamientos fijos, así como igual volumen de agua comparado con el agua potable o agua destilada de mezcla de control.

Las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. Por consiguiente se pueden fijar ciertos límites opcionales en el contenido de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua o se pueden desarrollar ensayos adecuados para determinar el efecto que la impureza provoque sobre ciertas propiedades. Algunas impurezas pueden tener un efecto mínimo sobre la resistencia y el tiempo de fraguado, pero pueden afectar de manera adversa a la durabilidad y algunas otras propiedades.

A continuación se presentan un resumen de los efectos que ciertas impurezas en el agua tienen sobre la calidad de un concreto normal.

Carbonatos y bicarbonatos alcalinos

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos. El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali-agregado graves.

Cloruros

La preocupación respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones del presfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto.

Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea por los ingredientes separados- aditivos, agregados, cemento y agua – o través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas. El colocar un límite aceptable del contenido de cloruro para cualquier ingrediente, como para el agua de mezclado, es una tarea difícil debido a las diversas fuentes posibles de iones cloruro en el concreto. Un límite aceptable en el concreto dependerá principalmente del tipo de estructura y del medio al cual esté expuesta durante su vida de servicio.

Frecuentemente un elevado contenido de sólidos disueltos en agua natural, se debe a un fuerte contenido de cloruro de sodio o sulfato de sodio. Ambos se pueden tolerar en grandes cantidades. En un concreto que vaya a estar seco y que tenga un bajo potencial de reacciones corrosivas, se pueden tolerar normalmente concentraciones de 20,000 ppm de cloruro de sodio. El agua que se utilice en concreto presforzado o en un concreto que vaya a tener embebido aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ión cloruro. Las aportaciones de cloruro de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar en consideración. Los aditivos de cloruro de calcio se deberán emplear con mucha precaución.

El reglamento de construcción del American Concrete Institute, ACI 318R-95², limita el contenido de ión cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento:

Tipo de Elemento	Contenido máximo de iones de cloruro acuosolubles en el concreto, porcentaje por peso de cemento
Concreto presforzado (por condiciones de estructura)	0.06%
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio	0.15%
Concreto reforzado que va a estar seco o protegido o protegido contra la humedad durante su servicio	1.00%
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30%

Sulfatos

El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenido elevado de sulfatos. Se han llegado a emplear satisfactoriamente aguas que contenían 10, 000 ppm de sulfato de sodio.

Sales de hierro

Las aguas freáticas naturales rara vez contienen más de 20 a 30 ppm de hierro; sin embargo, las aguas de minas ácidas pueden contener cantidades muy grandes. Las sales de hierro en concentraciones hasta de 40,000 ppm normalmente no afectan de manera adversa al desarrollo de la resistencia.

Diversas Sales inorgánicas

Las sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo presentes en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De éstas las activas son las de zinc, de cobre y de plomo. Las sales que son especialmente activas como retardantes, incluyen al yodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio. Todas ellas pueden retardar fuertemente el desarrollo del fraguado y de la resistencia cuando se les encuentra en concentraciones de unas cuantas décimas porcentuales del contenido en peso del cemento. Generalmente se pueden tolerar en el agua de mezclado concentraciones de estas sales hasta de 500 ppm.

Agua de mar

El agua de mar que contenga hasta de 35,000 ppm de sales disueltas, generalmente es adecuada como agua para fabricar concreto simple. Aproximadamente el 78% de la sal es cloruro de sodio y el 15% es cloruro y sulfato de magnesio. Aún cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua-cemento. El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concretos presforzados debido al riesgo de corrosión del refuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

Aguas ácidas y alcalinas

La aceptación de agua ácida ó alcalina como agua de mezclado se deberá basar en la concentración (en ppm) de ácidos en el agua. Generalmente la aceptación se basa en el pH, que es una medida de la concentración del ión hidrógeno*. El valor de pH es un índice de intensidad y no es la mejor medida de una reacción potencial ácida o base.

En general, el agua de mezclado que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a 10,000 ppm

* El pH del agua neutra es de 7.0; los valores inferiores a 7.0 indican acidez y los valores superiores a 7.0 indican alcalinidad

no tienen un afecto adverso en la resistencia. Las aguas ácidas con valores pH menores que 3.0 pueden ocasionar problemas de manejo y se deben evitar en la medida de lo posible; las aguas alcalinas con valores pH mayores a 10.0 pueden ocasionar un fraguado rápido y reducción de resistencia del concreto.

Aguas de desperdicios industriales

La mayor parte de las aguas que llevan desperdicios industriales tienen menos de 4,000 ppm de sólidos totales. Cuando se hace uso de esta agua como agua de mezclado para el concreto, la reducción en la resistencia a la compresión generalmente no es mayor que del 10% al 15%. Las aguas de desperdicio industriales como las curtidurías, fábricas de pinturas, y plantas químicas y galvanizadoras pueden contener impurezas nocivas. Lo mejor es ensayar cualquier agua de desperdicio que contenga aún unos cientos de ppm de sólidos poco comunes.

Aguas negras

Las aguas negras típicas pueden contener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica. Luego que esta agua se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se ve reducida a aproximadamente 20 ppm o menos. Esta cantidad es demasiado pequeña para tener cualquier efecto de importancia en la resistencia.

Impurezas orgánicas

El resultado que las sustancias orgánicas presentes en las aguas naturales puedan tener en el tiempo de fraguado del cemento portland o en la resistencia última del concreto, es un problema que presenta una complejidad considerable. Las aguas que estén muy coloreadas, las aguas con un olor notable o aquellas aguas en que sean visibles algas verdes o cafés deberán ser vistas con desconfianza y en consecuencia ensayadas.

Azúcar

Una pequeña cantidad de sacarosa, de 0.03% a 0.15% del peso del cemento, normalmente retarda el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía respecto de los distintos cementos. La resistencia a 7 días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar. El azúcar en cantidades de 0.25% ó más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar afecta al tiempo de fraguado y a la resistencia de manera distinta.

Menos de 500 ppm de azúcar en el agua de mezclado, generalmente no produce un efecto adverso en el desarrollo de la resistencia, pero si la concentración sobre pasa esta cantidad, se deberá realizar ensayos para analizar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia.

Sedimentos o partículas en suspensión

Se puede admitir en el agua aproximadamente 2,000 ppm de arcilla en suspensión o de partículas finas de rocas. Cantidades mayores podrían no afectar la resistencia, pero podrían influir sobre otras propiedades de algunas mezclas de concreto. Antes de ser empleadas, cualquier agua lodosa deberá pasar a través de estanques de sedimentación o deberá ser clarificada por cualquier otro medio para reducir la cantidad de sedimentos y de arcilla agregada a la mezcla. Cuando se regresan finos de cemento al concreto en aguas de enjuague recicladas, se pueden tolerar 50,000 ppm.

Aceites

Ocasionalmente se encuentran presentes varios tipos de aceite en el agua. El aceite mineral (petróleo) no mezclado con aceites animales o vegetales tiene probablemente un menor efecto en el desarrollo de la resistencia que otros aceites. Sin embargo concentraciones de aceite mineral mayores que 2.5% del peso del cemento pueden reducir la resistencia en más del 20%.

Algas

El agua que contiene algas no es adecuada para producir concreto por que las algas pueden causar una reducción excesiva en la resistencia ya sea influyendo en la hidratación del cemento o bien provocando que se incluya una gran cantidad de agua en el concreto. Las algas también pueden estar presentes en la superficie de los agregados, en cuyo caso la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento se ve reducida.

-
- 1 ASTM C 109-86 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or 50mm Cube Specimens)
 - 2 ASTM C 94-86 Specification for Ready-Mixed Concrete.
 - 3 ACI R-95 Reglamento para las construcciones de concreto estructural y comentario. Capítulo 4.
-

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO

En el concreto recién mezclado todos los sólidos granulares, inclusive el cemento, están separados temporalmente por delgadas capas de agua. Esta separación de las partículas y el efecto lubricante de las capas de agua junto con ciertas fuerzas entre ellas, hacen la mezcla manejable.

Es conveniente pensar en el concreto en términos de dos componentes principales: pasta de mortero (o ligante) y agregado mineral, con partículas individuales de este último embebidas en el mortero y separadas por él. La pasta de mortero es una mezcla de cemento, aire y agua. Todo el volumen de la mezcla es igual al de la masa de cemento, agua y agregado, más el del aire incorporado, o atrapado, o ambos. El concreto puede tener o no, uno o más aditivos.

Todo concreto, no importa que también se compacte durante el colado contiene algo de aire, conocido como "aire atrapado". Su cantidad en concretos bien compactados de peso normal, es por lo general, inferior al 2%, en volumen. Con proporciones de mezclas y características de agregado fijas, el contenido de aire atrapado es tan mayor cuanto más dura sea la consistencia y más pequeño el agregado. Normalmente, el aire atrapado existe en el concreto en forma de huecos dispersos que, por lo general, tienen tamaños comparables a los granos más grandes de arena. Tales huecos son característicos del concreto y su presencia no es perjudicial ni se puede evitar.

Además del aire atrapado, el concreto puede contener poros inducidos intencionalmente por medio de aditivos incorporados de aire. Tales aditivos forman en la pasta de cemento, durante la mezcla, gran número de pequeños huecos esféricos, comparables, en tamaño, a los granos más grandes de cemento y a los más pequeños de la arena.

Los poros ayudan al mortero en su función de hacer que la mezcla sea manejable. La tensión superficial y el agente activo que se absorbe en las fronteras de los poros de aire atrapado, le imparten al mortero mayor "cuerpo" y cohesión, siendo estos efectos tanto más notables cuanto mayor sea la cantidad de aire presente.

El aire que producen los aditivos inclusores de aire es esencial para obtener resistencias a las congelaciones en aquellos casos en que el concreto endurecido está muy saturado y tiene poca oportunidad de secarse antes de estar expuesto a temperatura de congelamiento. Por otra parte, el aire atrapado en el concreto, aumenta sustancialmente su durabilidad, reduce el descascamiento de los pavimentos, aumenta su cohesión y trabajabilidad,

mejora ligeramente su resistencia a los sulfatos al reducir su permeabilidad y disminuye la segregación y el sangrado.

CONCRETO RECIEN MEZCLADO

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y de ser capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de "plástico"- aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para modelar.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o piedra quedan encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona, sino que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura.

En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos de concreto fuertemente reforzado requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación. Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Mientras que una mezcla plástica es adecuada para la mayoría con trabajos con concreto, se puede utilizar superfluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concreto delgados o fuertemente reforzados.

Entre las principales características del concreto fresco se pueden considerar las siguientes

Uniformidad

Considerando que el concreto es un material heterogéneo que se produce mezclando varios componentes en cantidades establecidas, es necesario que esta mezcla sea uniforme de buena cohesión y no segregable. Para obtener una buena uniformidad, se requieren dos condiciones indispensables:

- Que la mezcla este correctamente diseñada y con la consistencia adecuada a las condiciones de ejecución de la obra.
 - Que se utilicen equipos y procedimientos de elaboración y colocación adecuados.
-

Segregación y Sangrado

Se conoce como segregación a la separación de los elementos que forman una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme. En el concreto se presenta debido a la diferencia de tamaño de las partículas y a la densidad de los componentes.

El sangrado es una forma de segregación en la cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie del concreto. Después de la compactación del concreto si no se le perturba, los sólidos presentes se afectarán lentamente a través de la porción fluida de aquél, dejando en la superficie, por lo general una capa de agua.

Consistencia

La consistencia es la movilidad relativa o capacidad de flujo del concreto recién mezclado. También determina, en gran parte, la facilidad con que puede consolidarse el concreto. Una vez seleccionados los materiales y las proporciones de la mezcla, el control primario sobre la trabajabilidad se lleva a cabo mediante cambios en la consistencia, producidos por modificaciones en el contenido de agua.

La prueba de revenimiento¹ se emplea en gran medida para indicar la consistencia de las mezclas empleadas en la construcción común. La prueba de Vebe se recomienda por lo general para mezclas más rígidas.

Los valores de revenimiento y de tiempo de Vebe para toda la gama de consistencias empleadas en la construcción, son las siguientes:

Las consistencias rígidas, plásticas rígidas y plásticas son las más adecuadas para la mayoría de los trabajos.

Existen otros modos de medir la consistencia como son la prueba de factores de compactación, la prueba de remoldeamiento de Power y la esfera de Kelly. Estas pruebas no se aplican con tanta frecuencia como la prueba de revenimiento.

Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto recién mezclado es la propiedad que determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede mezclarse, colocarse, compactarse y acabarse. La trabajabilidad es una función de las propiedades reológicas del concreto.

Como se indica en la Tabla 5-1, la trabajabilidad puede dividirse en tres aspectos principales:

1. - Estabilidad (resistencia al sangrado y segregación).
 - 2.- Compactabilidad (facilidad de remover el aire atrapado).
-

3.- Movilidad o fluidez, afectada por la viscosidad y cohesión del concreto y el ángulo de fricción interna.

Tabla 5-1. Parámetros de la reología del concreto fresco.

Descripción de la Consistencia	Revenimiento cm.	Tiempo Vebe Seg
Extremadamente Seca	-	32 a 18
Muy rígida	-	18 a 10
Rígida	0 a 2.5	10 a 5
Rígida plástica	2.5 a 7.5	5 a 3
Plástica	7.5 a 12.5	3 a 0
Altamente plástica	12.5 a 20	-
Fluida	más de 20	-

REOLOGIA DEL CONCRETO FRESCO

ESTABILIDAD

COMPACTIBILIDAD

MOVILIDAD

SANGRADO

SEGREGACION DENSIDAD RELATIVA

VISCOSIDAD COHESION

ANGULO DE
FRICION INTERNA

La trabajabilidad se ve afectada por la granulometría, la forma de las partículas y proporción de agregados, el contenido de cemento, el uso de aditivos químicos o minerales, el contenido de aire y de agua de la mezcla.

El concreto debe ser suficientemente trabajable para que el equipo moderno de compactación, utilizado en forma correcta, proporcione una compactación adecuada. Sin embargo todo exceso de trabajabilidad es un inconveniente, ya que tiende a incrementar el costo de la mezcla y puede reducir la calidad del concreto endurecido. Cuando el exceso de trabajabilidad es el resultado de una consistencia demasiado fluida, la mezcla será también inestable y es probable que se segregue durante el proceso de compactación.

Las mezclas con revenimientos moderadamente elevado, pequeño tamaño máximo de agregado y exceso de arena suelen tener mucha aceptación entre el

personal de campo, por que su exceso de trabajabilidad significa menos trabajo en el proceso de colado.

Por otro lado, tampoco es recomendable emplear mezclas demasiado rígidas para las condiciones de colado, ya que se requerirá mayor esfuerzo de compactación y, a pesar de todo, pueden no quedar bien compactadas.

Generalmente se requiere una guía para lograr el uso de mezclas con bajo revenimiento o contenido de arena, o un agregado de tamaño máximo mayor de modo que se obtenga un uso más eficiente del cemento.

Fraguado

Se entiende por fraguado al cambio de un fluido al estado rígido. En concreto se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En forma arbitraria para el concreto, se emplean dos términos: Fraguado inicial y Fraguado Final. Se dice que el concreto alcanza el fraguado inicial cuando su resistencia a la penetración es de (35 kg/cm^2) ; el Fraguado final se alcanza cuando la resistencia a la penetración es de (280 kg/cm^2) .

Las características anteriores son muy importantes, ya que para formar criterios de aceptación o rechazo es necesario conocerlas mediante las pruebas que se realizan a dicho concreto fresco.

Estas pruebas se ubican dentro del proceso de control del concreto fresco, el cual puede dividirse en dos etapas, la primera consiste en aquellos trabajos o verificaciones que se realizan previo o durante la elaboración del concreto y la segunda etapa que la componen dichos ensayos o determinaciones que se realizan al concreto ya elaborado.

PROCESO DE DOSIFICACION DEL CONCRETO

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto. Para producir concretos con calidad uniforme, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla. La mayoría de las especificaciones requiere que la dosificación se efectúe por peso en vez de hacerlo por volumen debido a las imprecisiones al medir por volumen al agregado (especialmente la arena húmeda). El empleo de un sistema de dosificación por peso suministra una mayor exactitud y simplicidad y evita el problema creado por el abundamiento de las arenas húmedas. El agua y los aditivos líquidos se pueden medir correctamente ya sea por volumen o por peso. La dosificación volumétrica se usa para concretos mezclados en una mezcladora continua y para ciertas obras en lugares donde no se cuente con instalaciones para el pesaje.

Las especificaciones generalmente exigen que los materiales se midan en revolturas individuales con los siguientes porcentajes de precisión: cemento 1%, agregados 2%, agua 1%, aditivos 3%.

El equipo deberá ser capaz de medir las cantidades dentro de estas tolerancias para la mezcla pequeña regularmente empleada así como para las mezclas de mayor cantidad. Periódicamente se deberá revisar la exactitud del equipo de dosificación, mismo que deberá ser ajustado cuando sea necesario.

El objetivo de todos los procedimientos de medición y mezclado es producir concreto uniforme que contenga las proporciones requeridas de los materiales. Para lograr esto, es necesario asegurarse de:

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

Medición del concreto

La medición puede hacerse en forma manual, semiautomática o totalmente automática. Como el propio nombre lo indica, en el proceso manual todas las operaciones de medición de los ingredientes del concreto se hacen a mano o con el uso de pesadoras mecánicas donde el peso o nivel de corte de los ingredientes depende de la observación de las escalas por parte del operador (ó medidas de agua). En un sistema semiautomático de medición, las compuertas de los silos de los agregados para cargar las tolvas de medición se abren mediante botones o interruptores operados a mano. Las compuertas se cierran automáticamente, sólo una vez tiene lugar la entrega de la carga señalada de material. El sistema incluye trampillas que impiden la ocurrencia simultánea de cargas y descargas. En una planta de dosificación automática, la medición de todos los materiales se logra eléctricamente mediante la activación de un solo interruptor de arranque (Fig. 5-1). Sin embargo, el sistema interrumpe el

ciclo de medición cuando la escala no vuelve a una posición que esté a menos de ± 0.3 % del cero de la balanza o cuando se excedan las tolerancias de pesado, previamente establecidas.

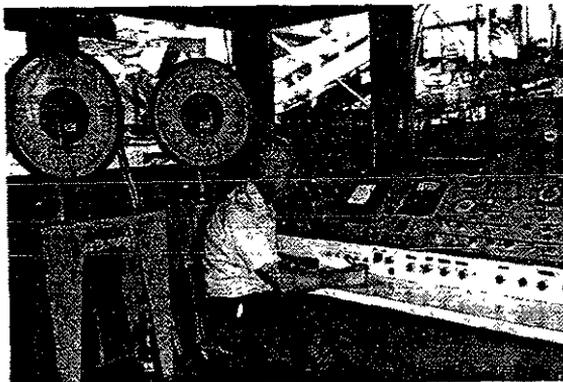


Fig. 5-1. Mesa de control de una planta automática de dosificación.

Mezclado del concreto

Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que sea uniforme en apariencia, con todos los ingredientes distribuidos equitativamente. Los mezcladores no deben ser cargados por encima de sus capacidades evaluadas y deberán ser operados aproximadamente a la misma velocidad para la que fueron diseñados. Se podrá aumentar la salida con el uso de un mezclador mayor o con mezcladores adicionales en lugar de acelerar o sobrecargar el equipo con que se cuente. Si las espas del mezclador se han desgastado o se han recubierto de concreto endurecido, la acción de mezclado será menos eficiente. Se deben remplazar las espas muy desgastadas y el concreto endurecido deberá ser removido periódicamente, de preferencia después de cada día de producción de concreto.

Si el concreto ha sido mezclado adecuadamente, las muestras que se tomen de distintas porciones de una mezcla tendrán los mismos pesos volumétricos, contenidos de aire, revenimientos, y contenidos de agregado grueso.

Los concretos ligeros estructurales se pueden mezclar de la misma manera que los concretos de peso normal, cuando los agregados tengan menos de 10% de absorción total en peso o cuando la absorción en peso sea menor de 2% durante la primera hora después de ser sumergidos en agua.

Mezclado estacionario

En ocasiones el concreto se mezcla en el lugar de la obra en un mezclador estacionario o en una mezcladora pavimentadora (Fig. 5-2). Dentro de los mezcladores estacionarios se incluyen los mezcladores en el lugar y los mezcladores centrales de las plantas de concreto premezclado. Se encuentran disponibles en tamaños desde 56 litros hasta 9.2 m^3 y pueden ser de tipo basculante o fijo o del tipo de paleta o de aspa rotatoria con abertura superior. Muchos mezcladores estacionarios cuentan con dispositivos para medir el tiempo, algunos de los cuales pueden ser regulados para un cierto tiempo de mezclado y asegurados para que la mezcla no se pueda descargar hasta que se haya transcurrido el tiempo designado.

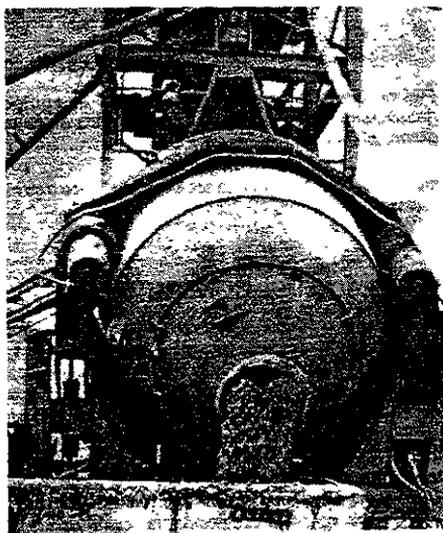


Fig. 5-2. El concreto se puede mezclar en el sitio de la obra con un mezclador estacionario.

Las especificaciones comúnmente requieren de un minuto como tiempo de mezclado mínimo para mezcladores estacionarios de hasta 1 yd^3 (0.76 m^3) ó menos, con aumento de 15 segundos por cada 0.76 m^3 , adicionales, o fracción de esta cantidad. Las especificaciones para carreteras normalmente permiten un periodo de mezclado más corto para pavimentadoras o para mezcladores centrales.

El periodo de mezclado debe medirse desde el momento en que todo el cemento y agregado se encuentran en el tambor mezclador, acondición que

toda el agua se agregue antes que transcurra un cuarto del tiempo de mezclado.

Bajo condiciones normales, hasta aproximadamente un 10% del agua de mezclado se debe colocar en el tambor antes que se agreguen los materiales sólidos. Entonces el agua se debe vaciar uniformemente con los materiales sólidos, dejando aproximadamente un 10% para agregarla después que todos los materiales se encuentren dentro del tambor. Cuando se use agua caliente en climas fríos, puede ser necesario modificar este orden de carga para evitar algún posible endurecimiento acelerado. En este caso, la adición del cemento deberá retrasarse hasta que la mayoría de los agregados y del agua se hayan entre mezclado en el tambor. Cuando se cargue directamente el mezclador desde los dosificadores, los materiales deberán agregarse simultáneamente a velocidades tales que el tiempo de carga sea aproximadamente el mismo para todos los materiales.

Si se utilizan aditivos retardantes o reductores de agua, deberán agregarse en la misma secuencia en el ciclo de carga. De otra manera podrían presentarse variaciones de importancia en el tiempo de fraguado inicial y el porcentaje de aire incluido. La adición del aditivo deberá completarse dentro del primer minuto después de que se haya completado la adición del agua al cemento o con anterioridad al inicio de los últimos tres cuartos al ciclo de mezclado, cualquiera que ocurra primero. Si en la misma mezcla de concreto se usan dos ó más aditivos, deberán ser agregados por separado para evitar cualquier posible interacción que interfiera con la eficiencia de cualquiera de los aditivos y afecte de manera adversa al concreto.

Concreto premezclado

El concreto premezclado se dosifica y se mezcla fuera del sitio de proyecto y se entrega en el área de construcción en estado fresco y sin endurecer. Se puede manufacturar por cualquiera de los métodos siguientes:

1. **Concreto mezclado en planta central.**- se mezcla completamente en un mezclador estacionario (Fig. 5-3) y se entrega ya sea en un camión agitador, con un camión mezclador operado a velocidad de agitación, o con un camión especial no agitador.
2. **Concreto Mezclado en dos fases.**- se mezcla parcialmente en un mezclador estacionario y se acaba de mezclar en un camión mezclador.

Concreto Mezclado en camión.- se llama así al concreto que se mezcla totalmente en un camión mezclador (Fig. 5-4).



Fig. 5-3. Mezclado central en mezcladores estacionarios del tipo de tambor basculante.

Cuando se utiliza un camión mezclador para llevar a cabo todo el mezclado, normalmente se requieren de 70 a 100 revoluciones del tambor o de las aspas a la velocidad de rotación designada por el fabricante como velocidad de mezclado para producir la uniformidad especificada en el concreto. No se deben recurrir a más de 100 revoluciones a la velocidad de mezclado. Todas después de la 100 deberán ser a la velocidad de rotación designada por el fabricante como velocidad de agitación. La velocidad de agitación normalmente es de aproximadamente 2 a 6 rpm., y la velocidad de mezclado generalmente es de aproximadamente 6 a 18 rpm. El mezclado a altas velocidades durante periodos prolongados, de aproximadamente una ó más horas, puede producir pérdidas de resistencia en el concreto, aumentos de temperatura, pérdidas excesivas de aire incluido, y pérdidas aceleradas de revenimiento.

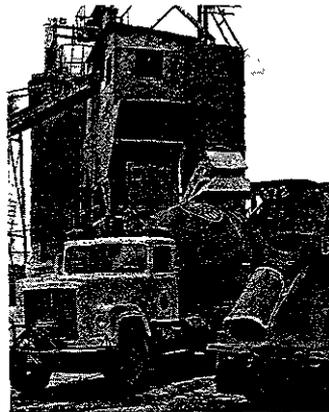


Fig. 5-4. El concreto mezclado-en-camión se mezcla totalmente en el camión mezclador, el cual normalmente puede contener de 3.0 a 7.5 m³ de concreto

El concreto debe ser entregado y descargado en el transcurso de 1 ½ horas o antes de que el tambor haya girado 300 veces después de introducir el agua al cemento y a los agregados o de introducir el cemento a los agregados. Estas limitaciones pueden ser descartadas si, después de 1 ½ horas ó 300 revoluciones del tambor, el revenimiento del concreto es tal que pueda ser colado sin agregar agua extra a la mezcla. En climas cálidos o bajo condiciones que contribuyan al endurecimiento rápido del concreto, se puede especificar un tiempo menor a 1 ½ horas Siempre se deberá operar los mezcladores y agitadores dentro de los límites de volumen y de velocidad de rotación designados por el fabricante del equipo².

ADITIVOS PARA EL CONCRETO

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto además del cemento portland, el agua y los agregados que se agregan a al mezcla inmediatamente antes del mezclado o durante el mismo. Generalmente los aditivos pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. Aditivos inclusores de aire
2. Aditivos reductores de agua
3. Aditivos retardantes
4. Aditivos acelerantes
5. Superplastificantes
6. Puzolanas
7. Agentes de trabajabilidad
8. Aditivos diversos: para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadeado, formadores de gas, colorantes, inhibidores de la corrosión, y ayudas para bombeo.

En la tabla 5-2. Se presenta una amplia clasificación de aditivos.

El concreto debe ser trabajable, capaz de dársele acabados, fuerte, durable, impermeable y resistente al desgaste. Estas cualidades continuamente se pueden lograr de una manera fácil y económica, seleccionando los materiales adecuados sin que se tenga que recurrir a los aditivos (excepto los aditivos inclusores de aire).

Las principales razones del empleo de los aditivos son:

Tabla 5-2. Clasificación de los aditivos para concreto.

Tipo de aditivo	Efecto deseado	Material
Accelerantes	Acceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edad temprana	Cloruro de calcio Trietanolamina, nitrato de sodio, formato de calcio, nitrato de calcio, nitrato de calcio
Exclusores de aire	Disminuyen el contenido de aire	Fosfato tributilo, alcohol octilo, ésteres insolubles al agua de ácido carbónico y bórico, silicónes
Aditivos inclusores de aire	Mejoran la durabilidad en los ambientes en que existe congelación-deshielo, productos químicos descongelantes, sulfatos, y reactividad a los álcalis Mejoran la trabajabilidad	Sales de resina de madera (resina Vinsol) Algunos detergentes sintéticos Sales de ácidos de petróleo Aceites grasos y resinosos y sus sales Sales de hidrocarburos sulfonados
Reductores de reactividad con los álcalis	Reducen la expansión provocada por la reactividad con los álcalis	Puzolanas (ceniza volante, humo de sílice), escoria de alto horno, sales de litio y de bario, agentes inclusores de aire
Aditivos para unir	Mejoran la unión	Hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos
Agentes colorantes	Concreto con color	Negro de humo modificado, óxido de hierro, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio, azul cobalto
Inhibidores de la corrosión	Reducen el avance de la corrosión del acero en un ambiente de cloruros	Nitrato de calcio, nitrato de sodio, benzonato de sodio, algunos fosfatos o fluosilicatos
Aditivos de humedad	Retardar la penetración de la humedad en el concreto seco	Jabones de calcio o estearato de amonio u oleato Estearato butilo Productos de petróleo
Aditivos minerales finamente divididos		
Cementantes	Propiedades hidráulicas Sustitución parcial del cemento	Escoria de alto horno granulada molida Cemento natural Cal hidráulica hidratada
Puzolanas	Actividad puzolámica Mejoran la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos, reducen la reactividad con los álcalis, la permeabilidad y el calor de hidratación Sustitución del cemento Relleno	Tierra diatomáceas, horstemos opatinos, arcillas, pizarras, tuñas volcánicas, pumicitas, cenizas volantes, humo de sílice
Nominalmente inertes	Mejoran la trabajabilidad Relleno	Marmol, dolomita, cuarzo, granito
Fungicida, germicida e insecticida	Inhiben o controlan el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dielrin Compuestos de cobre
Formadores de gas	Provocan expansión antes de que se presente el fraguado	Polvo de aluminio Jabon de resina y goma vegetal o animal Proteínas hidrolizadas
Impermeabilizantes	Disminuyen la permeabilidad	Humo de sílice Cenizas volantes Escoria sólida Puzolanas naturales Reductores de agua Látex
Ayudas de bombeo	Mejoran la capacidad de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos Bentonitas y sílices progénicas Puzolanas naturales Cenizas volantes Cal hidratada
Retardantes	Retardan el tiempo de fraguado	Lignina Borax Azúcares Acido tartárico y sales
Superplastificantes	Concreto con mayor fluidez Disminuye la relación agua-cemento	Condensados de formaldehido de melalina sulfonados Condensados de formaldehidos de naftaleno sulfonados Lignosulfonatos
Reductores de agua	Reducen la demanda de agua al menos 5%	Lignosulfonatos Ácidos cooxilicos hidroxilados Carbohidratos (También tienden a retardar el fraguado, por lo que a menudo se les agrega acelerante)
Agentes de trabajabilidad	Mejoran la trabajabilidad	Aditivos inclusores de aire Aditivos minerales finamente divididos, excepto el humo de sílice Reductores de agua

* A los superplastificantes también se les conoce como reductores de agua de alto rango o plastificantes

1. Reducir el costo de la construcción del concreto
2. Obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios.
3. Asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación, y curado en condiciones ambientales desfavorables
4. Superar ciertas eventualidades durante las operaciones de colado.

Se debe considerar que ningún aditivo de ningún tipo ni en cualquier cantidad se podrá considerar como sustituto de una practica correcta de colado.

La eficiencia del aditivo estará supeditada de factores tales como el tipo, marca y cantidad de cemento; el contenido de agua, la forma, granulometría y proporciones de los agregados; el tiempo de mezclado; el revenimiento; y las temperaturas del concreto y del aire.

Aditivos inclusores de aire

La resistencia a la congelación y deshielo del concreto endurecido se ve mejorada significativamente con el empleo de aire incluido. A medida que se va congelando el agua en el concreto húmedo, produce presiones osmóticas e hidráulicas en los capilares y poros de la pasta de cemento y del agregado. Las presiones hidráulicas son causadas por la expansión del 9% del agua al congelarse, en la cual los cristales de hielo que se van formando, desplazan al agua que no se ha congelado. Si la presión sobre pasa la resistencia tensión de la pasta o del agregado, la cavidad se dilatará y llegará a romperse. El efecto acumulativo de ciclos sucesivos de congelación - deshielo junto con la fractura de la pasta y del agregado causarán eventualmente una expansión y deterioro del concreto considerables. El deterioro es visible en forma de agrietamientos, descascaramientos, y desmoronamientos. A saturación crítica, todo espacio vacío del capilar quedará lleno de hielo al congelarse, teóricamente sin desarrollo de presión. Es aquí donde los aditivos inclusores de aire se emplean para mejorar la durabilidad del concreto a la humedad durante los ciclos señalados. La trabajabilidad del concreto fresco también mejora significativamente, y reduce o elimina la segregación y el sangrado.

Aditivos reductores de agua

El aditivo reductor de agua es un material utilizado para reducir la cantidad de agua de mezclado necesaria para producir un concreto con determinada consistencia. Estos aditivos incrementan el revenimiento del concreto para un contenido de agua dado. Por otro lado, la rapidez con que ocurre la pérdida de revenimiento no se reduce y, en algunos casos, puede incluso aumentar.

Algunos aditivos reductores de agua pueden también retardar el fraguado del concreto. Algunos se modifican para producir grados variables de retardo, en tanto que otros no influyen de modo significativo en el tiempo de fraguado. Algunos aditivos reductores de agua también introducen aire en el concreto.

Por lo general se puede obtener un incremento en la resistencia mediante aditivos reductores de agua si el contenido de agua se reduce para una mezcla dada y el contenido de cemento y el revenimiento se mantienen iguales. A pesar de la reducción en el contenido de agua, los concretos elaborados con ciertos aditivos reductores de agua muestran un importante aumento en la contracción por secado.

Aditivos retardantes

Los aditivos retardantes se utilizan ocasionalmente en el concreto para los siguientes propósitos:

1. Contrarrestar el efecto acelerante del clima cálido en el fraguado del concreto.
2. Retardar el fraguado inicial del concreto o la lechada cuando ocurren condiciones de colado difíciles o extraordinarias, tales como el colado en grandes pilas y cimientos, la cimentación de pozos petroleros, o el bombeo de concreto o lechada a distancias considerables.

La mayoría de los retardantes funcionan también como reductores de agua, con frecuencia se les llama "retardantes-reductores de agua". Los retardantes pueden también contribuir a la inclusión de aire en el concreto.

En general, el empleo de aditivos retardantes se acompaña con cierta reducción en la resistencia a edades tempranas (de 1 a 3 días), aunque el efecto de estos materiales sobre las otras propiedades del concreto (como la contracción) pueden no ser pronosticables. Por lo tanto, las pruebas de aceptación de los retardantes deben hacerse como materiales de obra y anticipando las condiciones que predominarán en ella.

Aditivos acelerantes

Los aditivos acelerantes se utilizan para acelerar el fraguado y el desarrollo de la resistencia del concreto. La mayoría de los acelerantes que se emplean con más frecuencia causan un incremento en la contracción por secado del concreto.

El cloruro de calcio (aditivo que más se utiliza) y otros materiales empleados como acelerantes no son anticongelantes. Cuando se usan en cantidades normales, no se reducirán el nivel de congelación del concreto más

que unos cuantos grados. En ninguna circunstancia se debe tratar de proteger el concreto de la congelación por este método.

Cuando se utilice cloruro de calcio, debe agregarse en forma de solución y como parte del agua de mezclado. Si se agrega en estado seco al concreto no se disolverán por completo todas las partículas durante el mezclado. Los terrones no disueltos en la mezcla pueden causar manchas oscuras en el concreto endurecido. El cloruro de calcio cuando se encuentra en estado seco puede también reducir la efectividad de los aditivos inclusores de aire.

La cantidad de cloruro de calcio añadida no debe exceder en ningún caso el 2% por peso del cemento. Una cantidad mayor puede ocasionar problemas de colado y perjuicio para el concreto, a causa del endurecimiento rápido, el aumento de la contracción por secado y la corrosión del refuerzo. La adición de no más del 2% de cloruro de calcio no produce efectos corrosivos importantes sobre el acero de refuerzo normal, si el concreto es de alta calidad y el acero tiene un recubrimiento adecuado.

El uso de cloruro de calcio o aditivos que contienen cloruros solubles no se recomienda en ciertas condiciones:

1. En concreto presforzado, por los posibles riesgos de corrosión.
2. En concreto que contenga aluminio ahogado, ya que puede ocasionar una seria corrosión de aluminio, especialmente si éste está en contacto con acero ahogado y el concreto se encuentra en un ambiente húmedo.
3. En acero galvanizado que se encuentre en contacto permanente con el concreto.
4. En concreto sujeto a reacción álcali-agregado o expuesto a suelos o agua que contengan sulfatos.
5. En donde la posibilidad de decoloración sea objetable por razones de apariencia, a no ser que por experiencias anteriores con el aditivo utilizado en conjunción con el agregado no haya mostrado resultados desfavorables.
6. En climas cálidos en general.
7. En colados de concreto masivo.

En situaciones donde no se recomienda el uso de cloruros, se puede disponer de acelerantes no corrosivos que no contienen cloruros (ver Tabla 5-2). Sin embargo, muchos de estos acelerantes no son tan efectivos como el cloruro de calcio y son más costosos.

Aditivos superplastificantes (reductores de agua de alto rango)

Los aditivos superplastificantes* son aditivos reductores de agua de alto rango, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los concretos producidos son concretos muy fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos. El concreto fluido se emplea:

1. En colados de secciones delgadas.
2. En áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado.
3. En colados con tubo-embudo (bajo el agua).
4. Como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello aumento de distancia de bombeo horizontal y vertical.
5. En áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos.
6. Para aminorar los costos de manejo.

Con la adición de un superplastificante a un concreto con revenimiento de 7.5 cm. se puede producir fácilmente un concreto con 22.5 cm de revenimiento. El concreto fluido queda definido, como aquel concreto que tiene un revenimiento mayor de 19 cm y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales a 25 cm, pueden provocar que el concreto se segregue.

Los reductores de agua de alto rango, también se pueden emplear para fabricar concretos de baja relación agua-cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12% al 30%. Esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua-cemento permiten producir concretos con:

1. Resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm².
2. Mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana.

* Los términos "reductor de agua de alto rango" y superplastificante" a menudo se emplean como sinónimos.

3. Menor penetración del ión cloruro así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones agua-cemento bajas.

En la mayoría de los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad o para producir concretos fluidos es de corta duración, de 30 a 60 minutos, y va seguido por una pérdida muy rápida de trabajabilidad (pérdida de revenimiento). Debido a esta pérdida de revenimiento, la adición de estos aditivos frecuentemente se hace en la obra. Los reductores de agua de alto rango de revenimiento prolongado que se adicionan en las plantas dosificadoras ayudan a reducir los problemas de pérdidas de revenimiento. El tiempo de fraguado se puede acelerar o retardar dependiendo de la composición química individual del aditivo, de la proporción dosificada, y de la interacción con los demás aditivos presentes en la mezcla de concreto.

Materiales Puzolánicos

Las puzolanas son materiales que generalmente no tienen valor cementante, pero adquieren ese valor en contacto con cal y humedad. Técnicamente se les clasifica como aditivos, pero a menudo se utilizan como sustituto o complemento del cemento. Gran cantidad de materiales naturales, como las tierras diatomáceas, el cuarzo opalino y los esquistos, las tobas y las pumicitas, así como algunos residuos industriales, como la ceniza volante, se utilizan como puzolana. En ocasiones los materiales puzolánicos se emplean en el concreto como auxiliares en el control de temperatura interna. Ciertas puzolanas se utilizan como aditivos para reducir o eliminar la expansión potencial de los agregados reactivos con los álcalis. Algunas puzolanas pueden mejorar la resistencia del concreto a los sulfatos si se emplean como aditivos, pero si se utilizan como sustitutos del cemento, pueden reducirse la resistencia a los sulfatos.

El exceso de alguno de estos componentes puede afectar de modo adverso la resistencia, el contenido de aire y la durabilidad del concreto.

Agentes impermeabilizantes y agentes reductores de permeabilidad

En muchas aplicaciones es importante que el concreto sea lo más impermeable posible, especialmente cuando ésta en contacto con agua a presión. La impermeabilidad del concreto depende ante todo de la cantidad de cemento y agua de mezclas utilizados y de la duración del curado húmedo. El concreto elaborado con una relación agua/cemento inferior a 0.49 por peso será más impermeable si tiene bajo revenimiento y está colado y curado en forma correcta.

Los aditivos conocidos como agentes reductores de permeabilidad son por lo regular materiales repelentes al agua ó puzolánicos.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ADITIVOS

Los aditivos fabricados en forma líquida deben ser almacenados en tambores o tanques herméticos y protegerse del congelamiento. Los aditivos fabricados en forma de polvo se pasan normalmente a forma líquida antes de aplicarlos. Los tanques de mezclado y dosificación deberán equiparse con equipos de agitación para mantener los sólidos en suspensión, puesto que muchos aditivos tienden a asentarse en la solución. La agitación deberá operar antes y durante la operación de medición. Se recurrirá al uso de hidrómetros para verificar que la solución tiene la concentración requerida. A causa de las posibilidades de error que involucra lo anterior, se recomienda más bien el uso de aditivos fabricados en forma líquida.

Los requisitos para almacenamiento de aditivos en polvo serán los mismos para el almacenamiento de materiales cementantes.

Las puzolanas se deberán manejar y almacenar esencialmente en la misma forma que el cemento. Muchas puzolanas requieren dispositivos de almacenamientos más herméticos para impedir la filtración, pero no son tan susceptibles al deterioro como el cemento.

MUESTREO DEL CONCRETO RECIEN MEZCLADO

Uno de los aspectos más significativos de las pruebas consiste en los medios para asegurar que una muestra sea representativa para la medición de una propiedad específica. Las muestras deben tomarse en forma aleatoria. Evitar el muestreo selectivo, que podría no representar la variedad de parámetros usados y especificados para la construcción.

El muestreo para propósitos de control de calidad del concreto tal como es producido, se debe realizar a medida que el concreto es entregado desde la mezcladora final. El muestreo puede ser de una mezcladora estacionaria en la planta de mezclado, o de un camión revolvedor cuando se prepara para llevar el concreto al sitio de la obra. Sin embargo, las especificaciones pueden requerir, el muestreo regular u ocasional en cualquier otra parte, para un propósito especial; por ejemplo el concreto que está siendo colado en las cimbras, pero antes de que sea vibrado. Generalmente, son menores los errores de muestreo y de fabricación de cilindros de pruebas, en el punto donde el concreto es entregado desde la mezcladora. Se ha encontrado que cuando el manejo y la colocación del concreto se ha efectuado como debe de ser, dicho muestreo y prueba miden satisfactoriamente el carácter del concreto colado.

Cuando el concreto es colocado por métodos tales como el bombeo, que pueden afectar significativamente las características del concreto, hay que realizar ocasionalmente un muestreo, tanto en la descarga de la mezcladora como en el punto final de colocación, para determinar si ha ocurrido algún cambio en el revenimiento, contenido de aire, temperatura, u otras características significativas de la mezcla.

La norma³ ASTM C 172 describe métodos de muestreo para el siguiente equipo de concreto

Camiones mezcladores o agitadores, de tambor giratorio.- Se deben tomar las muestras en dos o más intervalos de tiempo regularmente espaciados durante la mitad del vaciado de la carga, durante un límite de tiempo especificado y mezclarlas para formar una sola muestra (mezcla compuesta) que se usara para las pruebas. Bajo ninguna circunstancia se deberán obtener muestras mientras no se haya agregado toda el agua de mezclado a la revolvedora; tampoco se deberán obtener muestras de la primera ni de la última parte de la mezcla vaciada. El muestreo deberá hacerse pasando varias veces el recipiente por debajo de chorro de descarga (Fig. 5-5) o desviando todo el chorro para que descargue en el recipiente de muestreo. Se deberá de regular el gasto que pasa de la mezcla por medio de la velocidad de rotación del tambor y por el tamaño de la abertura de la compuerta de descarga.

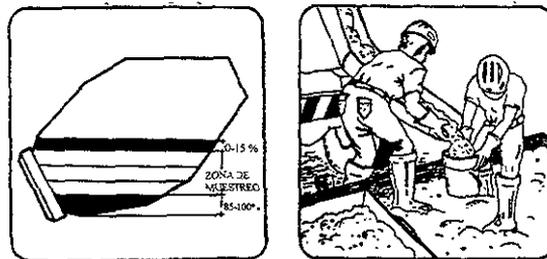


Fig. 5-5.

Mezcladoras estacionarias.- El concreto deberá muestrearse recogiendo dos o más porciones que se tomen a intervalos espaciados regularmente durante la descarga a la mitad del vaciado de la mezcla, durante un límite de tiempo especificado y mezclarlas para formar una sola muestra para fines de prueba. No se deben de recuperar porciones para la muestra combinada de la parte inicial ni de la final de la carga vaciada. El muestreo deberá hacerse pasando un recipiente completamente a través del chorro de descarga o desviando completamente el chorro hacia el recipiente de la muestra.

Mezcladoras para pavimentación.- Se deberán obtener las muestras del concreto después de que se haya vaciado totalmente la carga contenida en la pavimentadora, recogiendo porciones de cuando menos cinco puntos diferentes, para después revolverlas entre sí para formar una sola muestra para su posterior ensaye. Se deberá evitar la contaminación con el material de la subrasante.

Extremo de una línea de bombeo.- Se podrán obtener las muestras pasando un recipiente a través de la corriente de descarga o desviando la corriente hacia el contenedor, a dos o más intervalos regularmente espaciado durante la descarga.

Para mezcladoras en revolventoras abiertas en la parte superior, agitadoras, equipo sin agitación, u otro tipo de contenedores abiertos en la parte superior, etc., se pueden utilizar cualquiera de los métodos anteriores, según sea aplicable.

Los requisitos generales para las muestras son, que la cantidad de concreto muestreado sean más grandes que el requerido para los especímenes o las pruebas, y no menor que 28 litros para las pruebas de aceptación. Las muestras se deberán combinar y remezclar con una pala sólo lo mínimo necesario para garantizar uniformidad y cumplimiento de los límites de tiempos mínimos, el tiempo transcurrido entre la obtención de la primera y de la última parte de una muestra combinada deberá ser el mínimo posible pero bajo ninguna circunstancia deberá exceder de 15 minutos. Las pruebas revenimiento, contenido de aire y temperatura se deben comenzar en los 5 minutos después de la composición (mezcla compuesta), los especímenes para la prueba de resistencia se deben moldear en los primeros 15 minutos después de su composición.

PRUEBAS DE CONCRETO RECIEN MEZCLADO

Las principales pruebas de aceptación para un concreto recién mezclado son: revenimiento, contenido de aire y temperatura. Así como la fabricación de especímenes de concreto para pruebas, los cuales nos servirán como apoyo en la comparación de pruebas de laboratorio, de campo y de concreto in situ, base para la evaluación de seguridad y comportamiento del concreto en la estructura, y examinar la adecuabilidad de las proporciones de la mezcla.

La prueba de revenimiento, es el método de mayor aceptación que generalmente se utiliza para medir la consistencia del concreto, la cual es una medida de su trabajabilidad. Pruebas adicionales de consistencia son la prueba

británica del factor de compactación, la prueba de remoldeo de Powers, la prueba de Vebe, la prueba de esfera de penetración (bola de Kelly).

Prueba de revenimiento – ASTM C 143¹

Revenimiento es la medida de consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones específicas.

El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (un molde de metal de forma cónica truncado de 30 cm de altura con diámetro de 20 cm en la base y de 10 cm en la parte superior, como se indica en la Fig. 5-6.) y una varilla de apisonamiento de acero (de 16 mm de diámetro, y 60 cm de largo), con el extremo de apisonamiento redondeado en forma semiesférica. Equipo de cribado (malla 38 mm.), y herramienta manual, como palas, cucharas, llanas metálicas y guantes de hule.

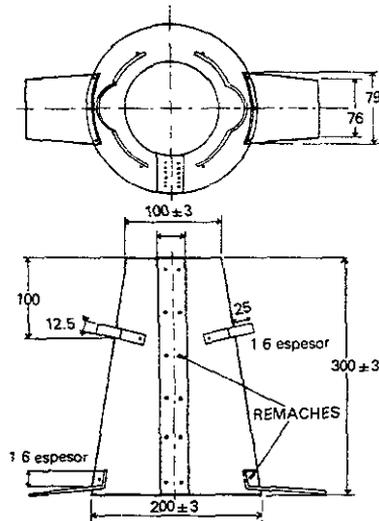


Fig 5-6. Cono metálico truncado

Procedimiento:

1. Se deberá colocar el cono húmedo y limpio, alinear a plomo sobre una superficie plana, húmeda y no absorbente.
2. Llenar el cono con concreto fresco en tres capas de igual volumen*. Apisonando cada capa con 25 golpes de varilla, distribuyendo

* la tercera parte del volumen del molde de revenimiento llega una altura de 2 5/8" (67 mm); dos terceras partes del volumen alcanzan una altura de 6 1/8" (155mm).

uniformemente los golpes en toda la sección transversal de cada una de las capas. En la capa inferior se necesitará inclinar ligeramente la varilla y dar del orden de la mitad de los golpes cerca del perímetro y luego seguir con golpes verticalmente aplicados en forma espiral hacia el centro en toda la capa (Figura 5-7). La capa intermedia y la superior se deberán varillar en todo su espesor de tal forma que el varillado penetre apenas en la capa subyacente.

3. Al llenar y varillar la capa superior, se debe procurar que el concreto exceda la capacidad del molde antes de iniciar el varillado. Si después de la operación de varillado la superficie del concreto queda abajo del borde superior del molde, se deberá agregar más concreto para siempre tener un sobrante de concreto por encima del molde. Una vez que se ha terminado de varillar la capa superior, la superficie del concreto se enrasará con un movimiento de corrimiento y giro de la varilla de apisonamiento sobre el borde superior del molde.

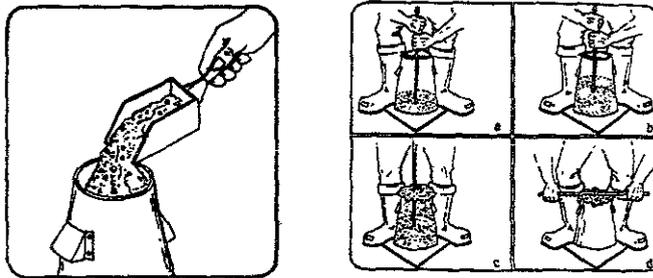


Fig. 5-7

4. Inmediatamente se levantará el molde cuidadosamente en dirección vertical (Figura 5-8) a una distancia aproximadamente 12" (30 cm) en un tiempo de 5±2 segundos con un movimiento uniforme hacia arriba, sin causar desplazamiento lateral ni torsión, y medir el revenimiento con respecto al centro original con una aproximación de 6 mm (Figura 5-9).

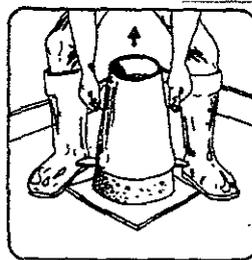


Fig. 5-8.

ESTA TEMA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5. Se terminará toda la prueba desde el inicio de llenado hasta la extracción del molde sin interrupción y concluyéndola dentro de un tiempo de no más de 2 ½ minutos.

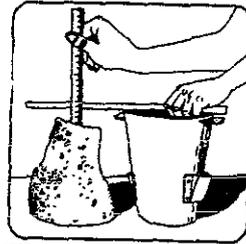


Fig. 5-9.

Tolerancias en el revenimiento nominales

Para un revenimiento especificado de:	Tolerancia
2" (51 mm) y menos	± ½" (13 mm)
Más de 2" y hasta 4" (51 a 102 mm)	± 1" (25 mm)
Más de 4" (102 mm)	± 1 ½" (38 mm)

Si llegará a ocurrir un desplome o desprendimiento evidente del concreto (como se indica en la Figura 5-10) de un lado o de una parte de la masa de concreto, se desechara la prueba y ejecutará una nueva con otra porción de la muestra. Si dos pruebas consecutivas de una misma muestra de concreto muestran un desplome o desprendimiento de una parte de concreto de la masa del espécimen, el concreto probablemente carece de la plasticidad y cohesión necesaria para poder aplicar la prueba de revenimiento.

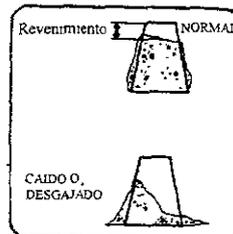


Fig. 5-10.

El concreto deberá estar disponible dentro del rango de revenimiento permisible durante un período de 30 minutos a partir de su arribo a la obra. El primer y último $\frac{1}{4}$ de yarda ó metro cúbico que descarguen están exentos de este requisito.

Prueba del Factor de compactación

La prueba del factor de compactación es uno de los métodos más confiables para medir la trabajabilidad del concreto. Consiste en determinar el grado de compactación alcanzado por una cantidad estándar de trabajo. El grado de compactación, llamado factor de compactación, se mide mediante la relación de peso específico, es decir, el cociente del peso específico realmente obtenido en la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado.

En la Figura 5.11 se muestra un aparato común para medir el factor de compactación. Su empleo es poco frecuente debido al tamaño del equipo y solamente se usa en laboratorios de investigación o de algunas obras de gran tamaño. Para concretos con agregado hasta 19 mm. ($\frac{3}{4}$ "), la altura del aparato es de aproximadamente 1.20 m.; para concreto con agregados de 19 a 28 mm. ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ ") debe usarse un aparato mayor, el cual tiene aproximadamente 1.8 m. de altura.

Para concretos de consistencia seca se obtienen resultados más confiables que con la prueba de revenimiento.

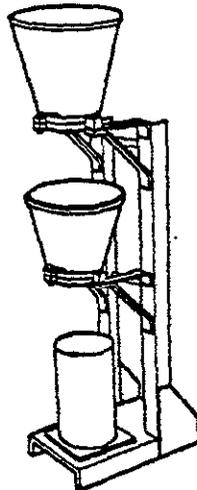


Fig. 5-11. Aparato para medir el factor de compactación.

Prueba de remoldeo de Powers

En esta se mide la trabajabilidad en función del esfuerzo realizado para cambiar la forma de una muestra de concreto; esto es, de la forma de un cono truncado (cono de revenimiento) a la de un cilindro. Se realiza mediante una mesa de fluidez (Fig. 5-12.) y al esfuerzo realizado se expresa por el número de impactos o golpes que se requieren. Esta prueba se considera de laboratorio exclusivamente.

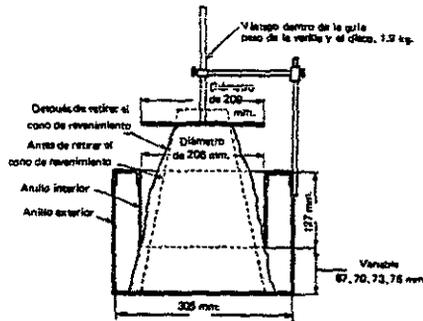


Fig 5-12. Aparato para medir la prueba de remoldeo

Prueba de Vebe

Al igual que la anterior es un procedimiento de remoldeo, para lo cual se ocupa una mesa vibratoria (Fig. 5-13) en lugar de la mesa de fluidez. Se cuantifica la trabajabilidad como el tiempo (los mismos se indican en la tabla 5-1) en que este remoldeo se realiza. Por ser un juicio visual, la dificultad de establecer el final de la prueba puede ser una fuente de error.

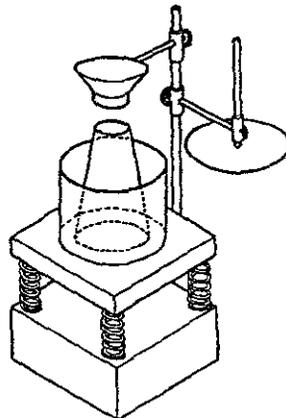


Fig. 13 Aparato de Vebe

Prueba de esfera de penetración (bola de kelly)⁴

Esta es una prueba más sencilla y rápida de realizar que la de revenimiento, sin embargo no se ha generalizado su uso. El método consiste en medir la penetración en el concreto de una esfera de 3" de radio y 30 lb. de peso. A fin de evitar efectos frontera, la profundidad del concreto que se prueba no debe ser menor de 20 cm., la menor dimensión lateral de 46 cm. No existe una correlación directa entre esta prueba y la de revenimiento ya que ninguna de las pruebas miden propiedades básicas del concreto. En la Fig. 5-14. se muestra este equipo.

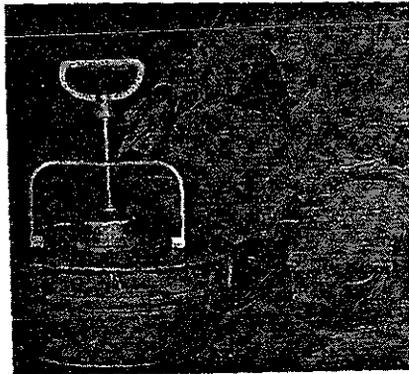


Fig. 5-14 Prueba de penetración de bola

Control de temperatura

Las altas temperaturas dentro del concreto fresco puede causar evaporación excesiva y dificultades en la colocación y acabado, estas temperaturas del concreto combinados con ciertos factores atmosféricos, como fuertes vientos y baja humedad, conducen a un secado excesivo o demasiado rápido y a una contracción plástica posiblemente nociva.

Las temperaturas bajas que no causen peligro de congelación, son ventajosas para la calidad última del concreto y disminución de agrietamientos. Se deben de limitar los cambios de temperatura rápidos, especialmente antes de que el concreto haya desarrollado la resistencia suficiente (de al menos 35 kg/cm^2) como para soportar los esfuerzos térmicos inducidos, esto evita el daño al concreto ocasionado por el congelamiento en etapas temprana.

De acuerdo con esto, la mayoría de las especificaciones limitan la temperatura de la mezcla en el momento de colocarlo*. Así que es esencial medir la temperatura de la mezcla con anterioridad a su colocación. Existen varias clases de termómetros tipo aguja, apropiados para esta prueba (Fig. 5-15). Se debe registrar la temperatura cada vez que se efectúe una prueba de revenimiento, o de contenido de aire, o cuando se hacen cilindros de concreto para pruebas.

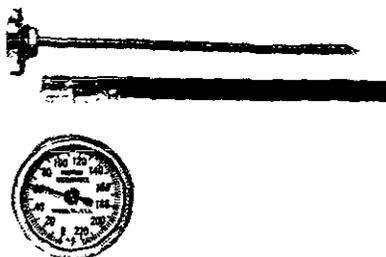


Fig. 5-15. Termómetro bimetalico de bolsillo con un sensor de metal adecuado para revisar las temperaturas del concreto.

El equipo debe ser un recipiente hecho de un material no absorbente y tener proporciones tales que al menos 3" (75 mm) de concreto cubran en todas direcciones al sensor del aparato medidor de temperatura. La temperatura de la mezcla de concreto puede medirse en el equipo de transporte y cimbras que sirven como recipiente de contención.

El sensor de temperatura debe estar sumergido al menos 3" (75 mm), y presionar suavemente la superficie del concreto alrededor del aparato medidor de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición, el cual permanecerá por un período mínimo de 2 minutos, o hasta que la lectura se estabilice, este mismo tendrá que medir la temperatura de la mezcla con una variación de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Cuando el concreto contenga agregado de tamaño nominal máximo mayor a 3" (75 mm), pueden tomar más de 20 minutos para que la temperatura se estabilice.

Control de contenido de aire

Se puede hacer uso de un gran número de métodos para medir el contenido de aire del concreto fresco, pero sólo se mencionarán los dos más importantes debido a su empleo y confiabilidad.

* Se recomienda consultar las guías del ACI 305 y 306. Elaboración, colocación y protección del concreto en clima caluroso y frío, para poder definir la temperatura supeditada a diversas variables.

Método de presión⁵.- se basa en la ley de Boyle, la cual relaciona a la presión con el volumen. La presión aplicada comprime el aire dentro de la muestra de concreto, incluyendo al que se encuentra en los poros de los agregados. Por esta razón, las pruebas con este método no son adecuadas para determinar el contenido de aire de los concretos hechos con algunos agregados ligeros u otros materiales porosos. Los factores de corrección para los agregados de peso normal son relativamente constantes y, aunque pequeños, deberán aplicarse para obtener la cantidad de aire incluido. El instrumento deberá calibrarse para diversas alturas sobre el nivel del mar si se va a usar en lugares que tengan diferencias considerables de altitud. Algunos medidores utilizan el cambio de presión de un volumen conocido el aire y no resultan afectados por los cambios de altura. Los medidores de presión son usados ampliamente por que ni las proporciones de la mezcla ni los pesos específicos del material necesitan ser conocidos. También se puede realizar la prueba en menos tiempo del que requieren otros métodos.

Hay dos tipos de medidores -A y B- utilizados para determinar el contenido de aire por medio del método de presión. El medidor Tipo A (Figura 5-16) se basa en la correlación de la reducción del nivel de agua con la reducción de volumen del aire de la muestra de concreto, por una presión de aire determinada. El medidor Tipo B (Figura 5-17) opera bajo el principio de igualar el volumen conocido de aire a una presión conocida en una cámara sellada, para obtener el valor de un volumen de aire desconocido, en la muestra de concreto. Los requisitos generales para la prueba de contenido de aire usando el método de presión de aire, son:

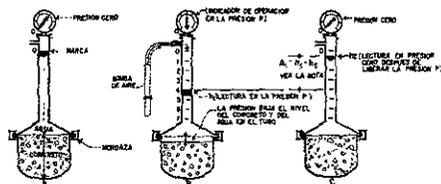


Fig. 5-16. Método de presión para medir el contenido de aire de concreto, medidor tipo A.

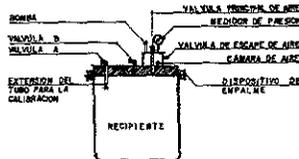


Fig. 5-17. Diagrama Esquemático- medidor tipo B.

Nota: $A_1 = h_1 - h_2$ cuando el recipiente contiene concreto como se muestra en la figura; cuando el recipiente contiene únicamente agregados y agua, $h_1 - h_2 = G$ (factor de corrección del agregado), $A_1 - G = A$ (aire contenido en el concreto).

1. Calibrar el medidor de aire de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

2. Llenar el recipiente con concreto fresco, en tres capas iguales; varillar cada capa 25 veces, y golpear ligeramente el recipiente con una maceta, de 10 a 15 veces, después de que cada capa ha sido varillada.
3. Remover el exceso de concreto con un movimiento de vaivén de la varilla enrasadora, y ensamblar el medidor.
4. Agregar el agua necesaria y presurizar.
5. Leer el resultado mediante un manómetro o un tubo de medición, y usar el factor de corrección del agregado para obtener la verdadera lectura del aire.

Método volumétrico.- requiere la remoción del aire de un volumen conocido de concreto agitando el concreto dentro de un exceso de agua. Este método puede usarse para los concretos que contengan cualquier tipo de agregado, incluyendo los materiales finos o porosos. La prueba no es afectada por la presión atmosférica, y no se necesita conocer el peso específico de los materiales. Se deberá tener la precaución de agitar suficientemente la muestra para remover todo el aire. Los requisitos generales para la prueba de contenido de aire usando el método volumétrico, son:

1. Calibrar el medidor de acuerdo con las instrucciones del fabricante, y seguir los procedimientos generales al igual que antes, para llenar el recipiente (Figura 5-18) con concreto fresco, varillando y golpeando cada capa, y enrasando a nivel. Ensamblar el medidor y llenarlo con agua hasta la marca cero.

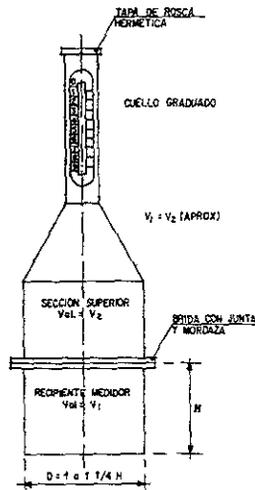


Fig. 5-18. Aparato para medir el contenido de aire de concreto fresco por método volumétrico.

2. Invertir y agitar el medidor hasta que el concreto quede libre de la base; continuar agitando y meciendo el medidor con el cuello elevado, para quitar el aire del concreto.
3. Colocar el aparato en posición vertical, sacudirlo, y permitir que todo el aire se eleve hasta la parte superior.
4. Repetir la agitación hasta el nivel de agua se estabilice. Usar después alcohol en incrementos medidos para que desaparezca la espuma.
5. Leer directamente el aire como el nivel del agua más los incrementos de alcohol que se hayan añadido.

Elaboración de los especímenes

Estas prácticas proporcionan requerimientos estandarizados para hacer, curar, proteger y transportar especímenes de concreto para pruebas de campo; si se controla la preparación de los especímenes, éstos se podrán usar para generar información para los siguientes objetivos:

- Revisar la adecuabilidad de las proporciones de la mezcla del laboratorio para la resistencia del concreto en la obra.
- Servir como base para la comparación de pruebas de laboratorio, de campo y de concreto in situ, como base para la evaluación de seguridad y comportamiento del concreto en la estructura y como base para determinación de los requerimientos mínimos de tiempo necesarios para decimbrar y retirar puntales.
- Determinar que se cumpla las especificaciones de resistencia.
- Determinar cuando la estructura puede entrar en servicio.

Los moldes en general que estén en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro forjado u otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto que contengan cemento portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes deberán mantener sus dimensiones y forma bajo condiciones de trabajo rudas. Los moldes no deben tener fugas de agua. Donde sea necesario debe usarse un sellador adecuado como grasa densa, plastilina, barro o cera microcristalina para que no fuge agua por las uniones. Debe proporcionarse medios adecuados para sujetar las placas de base firmemente unidas a los moldes. Antes de usarse, los moldes deben de ser cubiertos ligeramente con aceite mineral o un agente separador de cimbras no reactivo.

Para hacer especímenes cilíndricos⁶ de 15 x 30 cm, el concreto debe ser muestreado tal y como se describió con anterioridad. El moldeo de los especímenes se debe comenzar en los primeros 15 minutos después de que la muestra ha sido compuesta, de la siguiente manera:

1. Llenar el molde uniformemente en aproximadamente tres capas iguales con un cucharón o una cuchara (dos capas si se va a vibrar).
2. Varillar cada capa 25 veces (los revenimientos de 1"-25 cm.- o menos deben ser vibrados). Golpear ligeramente de 10 a 15 veces los lados después de cada varillado para cerrar los vacíos, y enrasar la parte superior con una llana metálica o de madera (Figura 5-19), llevando a cabo el terminado de superficies trabajando el concreto lo mínimo para producir una superficie plana, lisa, a nivel con los bordes del molde y que no tenga depresiones o sobreniveles de más de 1/8"(3.2 mm.).
3. Inmediatamente después de llevar a cabo el acabado, debe evitarse la evaporación y pérdida de agua de los especímenes (Figura 5-20). Cubrir los especímenes con una placa u hoja de plástico no absorbente y que no reaccione con el concreto. Puede usarse lonas húmedas sobre el plástico para retardar la evaporación, pero no debe estar en contacto con la superficie de concreto.

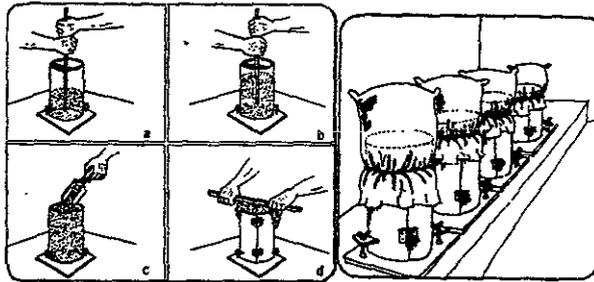


Fig. 5-19.

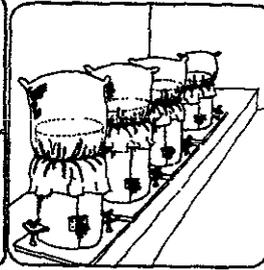


Fig. 5-20.

Curado de especímenes de compresión

La temperatura alrededor de los especímenes debe mantenerse en un rango de 16° a 27° C, evitando su exposición directa a los rayos del sol o aparatos calentadores. Los especímenes que vayan a ser transportados antes de transcurridas 48 horas después del moldeado deben permanecer en su molde a humedad del medio ambiente hasta que sean recibidos en el laboratorio para el desmoldeo y colocación en curado estándar. Los especímenes que no vayan a ser transportados deben ser sacados de los moldes después de transcurridas las primeras 24 ± 8 horas y usar el curado estándar hasta que sean transportados.

El curado estándar consiste en almacenar en condiciones húmedas $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ los cilindros, pueden sumergirse en agua saturada de cal, y se pueden colocar en gabinetes de curado o en cuartos para el curado hasta el momento de las pruebas.

Para hacer especímenes sujetos a la resistencia a la flexión⁶ del concreto se usan comúnmente vigas rectangulares de 15 x 15 x 51 cm para concreto con agregado grueso de hasta 2" (51 mm.). Los siguientes requisitos se aplican a los especímenes de tamaño estándar.

Moldes de especímenes a flexión

1. Llenar el molde en dos capas iguales si se va a varillar, y en una capa si se va a vibrar (Figura 5-21).
2. Varillar cada capa uniformemente- por cada capa, es uno cada 2" cuadradas (13 cm²) de superficie superior del espécimen (Figura 5-22), y golpear ligeramente de 10 a 15 veces los lados del molde para llenar los huecos dejados por la varilla. Si se usa moldes de metal delgado que puedan dañarse con el mazo, se podrán golpear suavemente con la palma de la mano. Vibrarlo si el revenimiento es de 1" (25 cm) ó menos.
3. Emparejar la superficie con una llana metálica o de madera (Figura 5-23), llevando a cabo el terminado de superficies trabajando el concreto lo mínimo para producir una superficie plana, lisa, a nivel con los bordes del molde y que no tenga depresiones o sobreniveles de más de 1/8" (3.2 mm.).

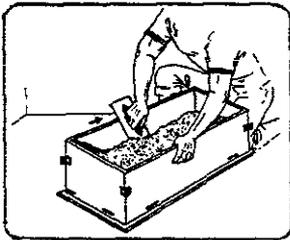


Fig. 5-21.

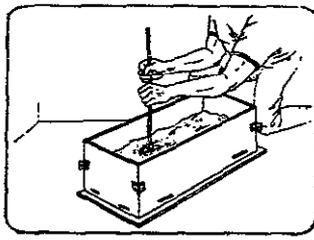


Fig. 5-22.

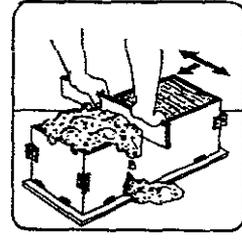


Fig. 5-23

Curado de especímenes a flexión

Después del curado inicial en los moldes (similar al de los cilindros), quitar la viga de los moldes de 20 a 48 horas después del moldeado, asegurándose que las vigas no se sequen. Curar a $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ en condición húmeda (similar a los cilindros). Es muy importante sumergir las vigas un mínimo de 20 horas en agua saturada de cal, antes de la prueba.

Cuando se requieran ser transportados los especímenes deben protegerse con materiales acojinantes adecuados a fin de evitar daños ocasionados por movimiento. También deben protegerse contra daños ocasionados por temperaturas muy bajas o pérdidas de humedad. La pérdida de humedad puede

prevenirse envolviendo los especímenes en plástico o rodeándolos con arena húmeda o con aserrín húmedo. La transportación no debe exceder de 4 horas.

En resumen se puede concluir que son dos los objetivos que se buscan con la realización de estas pruebas; el primero de ellos es con fines de controlar la producción del concreto conociendo los consumos reales de cemento; el segundo objetivo es emplearlo como un procedimiento acelerado para predecir la resistencia del concreto mediante la determinación de la relación agua cemento.

-
- 1 ASTM C 143-90^a Método de prueba estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico.
 - 2 ASTM C 94-96 Especificaciones estándar para el concreto premezclado.
 - 3 ASTM C 172-90 Práctica estándar para el muestreo del concreto recién mezclado.
 - 4 ASTM C 360-82 Test method for ball penetration in fresh portland cement concrete.
 - 5 ASTM C 231-91^b Método de prueba estándar para determinar el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.
 - 6 ASTM C 31-91 Práctica estándar para la fabricación y curado en la obra de especímenes de concreto para pruebas.
- ASTM C 192-81 Method of making and curing concrete test specimens in the laboratory
-

**PRUEBAS PARA DETERMINAR PROPIEDADES
GENERALES DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Como consecuencia del continuo proceso de hidratación del cemento, el concreto por lo general tiende a aumentar su resistencia, a mejorar sus características, con la edad. Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente después de colado. Por lo tanto, las propiedades del concreto endurecido, dependen generalmente de las condiciones de curado a través del tiempo, pero existen otros factores que afectan a estas, las cuales se verán más adelante.

Las principales propiedades y características del concreto endurecido, son las siguientes:

- Resistencia a la Compresión simple
 - Resistencia a la Tensión
 - Resistencia a la Flexión
 - Resistencia al Esfuerzo Cortante
 - Resistencia a la Compresión Triaxial
 - Resistencia a la Torsión
 - Resistencia al Impacto
 - Resistencia a la Fatiga
 - Resistencia al Intemperismo
 - Resistencia a la Abrasión
 - Resistencia al Fuego
 - Adherencia
 - Permeabilidad
 - Durabilidad
 - Conductividad Térmica y Acústica
 - Flujo Plástico
 - Absorción de Radiaciones
 - Contracción por hidratación del cemento
 - Contracción por Secado
 - Expansión por Saturación
 - Expansión por Reacción Química
 - Expansión Térmica
 - Módulo de Elasticidad a la Compresión
 - Módulo de Elasticidad al Esfuerzo Cortante, etc
-

De las anteriores la resistencia del concreto endurecido se considera como su propiedad más importante, en algunos casos especiales, otras propiedades, tales como: impermeabilidad, durabilidad, conductividad térmica, etc., pueden resultar valiosas. Muchas de las características deseables del concreto, se relacionan cualitativamente con su resistencia a la compresión, ya que ésta representa un panorama general de la calidad del concreto, por que está relacionada directamente con la estructura de la pasta del cemento endurecido. La razón principal consiste en la importancia intrínseca que tiene dicha resistencia en el comportamiento de las estructuras de concreto, bajo la gama total de sollicitaciones a que pueden quedar sujetas.

Para determinar las características anteriores, las pruebas de concreto endurecido pueden clasificarse en: Ensayes Destructivos y Ensayes No Destructivos. Las pruebas destructivas se han venido usando desde hace muchos años, pero a la fecha no existe una prueba de este tipo que sea mundialmente aceptada; de aquí, que en diversos países se utilicen distintos métodos y técnicas. Por lo respecta a las pruebas no destructivas, éstas hacen posible probar repetidamente la misma muestra, y consecuentemente estudiar la variación de las propiedades con el paso del tiempo.

A continuación se describen brevemente las pruebas de concreto endurecido que se usan comúnmente; de estas las Pruebas Destructivas más comunes son: Prueba a la Compresión Simple, Prueba de Flexión, Prueba Brasileña de tensión; las pruebas No destructivas más comunes son: Prueba de martillo de Rebote (Esclerómetro), Prueba de Pulso Ultrasónico, Prueba de resistencia a la Penetración (Pistola de Winsor), Prueba de Extracción (Pull-Out) y Prueba de corazones extraídos del concreto endurecido, los tres últimos tipos de pruebas son consideradas, por algunos autores, como pruebas semidestructivas.

Las pruebas de resistencia del concreto endurecido se pueden ejecutar en:

1. Especímenes curados moldeados de muestras de concreto fresco.
 2. Especímenes fabricados con moldes de cilindros colados en el sitio
 3. Especímenes extraídos provenientes de miembros de concreto endurecido.
 4. Directamente del elemento de concreto endurecido.
-

PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Prueba a la Compresión Simple¹

No existe una convención aceptada sobre que tipo de espécimen es el mejor para realizar ensayos de compresión. Comúnmente se usan especímenes de tres tipos: cilíndricos, cubos y prismas.

Generalmente se usan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos. En estructuras de concreto reforzado el espécimen usual es el cilindro de 15 x 30 cm. En estructuras de concreto construidas con concreto en masa, donde se usan agregados de gran tamaño (10 a 15 cm.), se usan cilindros de 30 x 60 cm., y en ocasiones moldes hasta de 60 x 120 cm, para establecer índices de resistencia. Se acostumbra designar con f'_c la resistencia a la compresión especificada de un cilindro estándar a los 28 días o a la edad en que el concreto vaya a recibir su carga de servicio.

Cuando se seleccione el tipo de espécimen es necesario establecer las condiciones de muestreo, fabricación, curado y ensaye teniendo entre estas últimas particular relevancia la velocidad de carga.

Las pruebas de compresión de los cilindros de concreto se deben de realizar sobre una maquina de pruebas calibrada, operada por motor, que proporcione una velocidad de carga uniforme de 1.4 a 3.5 kg/cm² por segundo. Las superficies de apoyo deben ser planas y estar limpias, y el cilindro debe estar centrado en las cabezas de las pruebas*, como se muestra en la Fig. 6-1, de manera que la presión ejercida sea lo más uniforme posible. Lo anterior se logra fácilmente si el espécimen es un cubo o un prisma.



Fig. 6-1. Pruebas de compresión de un cilindro de concreto

* las pruebas de concretos con resistencias a presión mayores a 420 kg/cm² requieren de atención especial a la resistencia de los materiales usados para el cabeceo, y a la rigidez de la máquina de pruebas

Los cilindros se fabrican generalmente en moldes de acero apoyados en una placa en su cara inferior y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente; esta operación es llamada cabeceado, y consiste en aplicar un cierto material comúnmente azufre o pasta de cemento de alta resistencia (350 kg/cm^2 o más), a los extremos del cilindro para producir una superficie lisa de apoyo, prolongando el tiempo necesario para la preparación del ensaye, e introduciendo una variable adicional en los resultados, el material y la forma de cabeceado (Fig. 6-2). El cabeceo debe estar plano a una tolerancia de 0.0025 mm . Perpendicular al eje del cilindro, sano, sin puntos huecos.



Fig. 6-2. Cabeceado de cilindros de prueba a compresión con azufre.

En la Tabla 6.1 se indican factores de corrección para obtener la resistencia de un cilindro de $15 \times 30 \text{ cm}$. a partir de la obtenida con un espécimen de otra forma o dimensiones, para concretos fabricados con cemento normal y ensayados a los 28 días.

Tabla.- 6.1 Factores de equivalencia para ensayes a la compresión.

Especimen	Dimensiones Cm	Factores por los que se deben multiplicar las resistencias de un espécimen para obtener las equivalencias de un cilindro de $15 \times 30 \text{ cm}$	
		Variación normal	Valor medio Aceptable
Cilindro	15×30	-	1.00
	10×20	0.94 - 1.00	0.97
	25×50	1.00 - 1.10	1.05
Cubo	10	0.70 - 0.90	0.80
	15	0.70 - 0.90	0.80
	20	0.75 - 0.90	0.83
	30	0.30 - 1.00	0.90
Prisma	$15 \times 15 \times 45$	0.90 - 1.20	1.05
	$20 \times 20 \times 60$	0.90 - 1.20	1.05

Aun cuando se sigan cuidadosamente las especificaciones y el proceso sea realizado por operadores experimentados, los resultados que se obtengan no serán uniformes, siempre existirá dispersión en los datos, como cualquier proceso de medición. Estas dispersiones pueden ser inherentes al tipo de ensaye, debidas a errores accidentales o a la no uniformidad del material ensayado.

La resistencia a la compresión del concreto puede considerarse satisfactoria si los promedios de todos los conjuntos de tres pruebas de resistencia consecutivas igualan o exceden la resistencia especificada a los 28 días y si ninguna prueba de resistencia individual (el promedio de dos cilindros) se encuentra más allá de 35 kg/cm^2 debajo de la resistencia especificada*. También se deberá evaluar la resistencia si los cilindros curados en campo tienen una resistencia menor que el 85% de los cilindros compañeros curados en el laboratorio. El requisito del 85% puede ignorarse si la resistencia de los cilindros curados en campo rebasa a $f'c$ en más de 35 kg/cm^2 .

Cuando sea necesario, la resistencia en lugar deberá determinarse ensayando tres corazones por cada prueba de resistencia en que los cilindros curados en el laboratorio hayan estado por debajo de $f'c$ en más de 35 kg/cm^2 .

Algunos factores, que afectan directamente a los resultados obtenidos en especímenes de ensaye son:

- Efecto de las condiciones de curado
- Efecto de esbeltez
- Efecto de la velocidad de carga
- Efecto de la velocidad de deformación
- Efecto de las condiciones de humedad y temperatura durante la prueba
- Efecto del tamaño del espécimen sobre la resistencia
- Efecto del tamaño del molde y tamaño del agregado
- Efecto de la edad

Algunos de estos factores no solamente afectan a los resultados de pruebas a la compresión, sino también, a los resultados obtenidos en otros tipos de ensaye, como son los de tensión y flexión, y relativamente despreciables a los resultados obtenidos en pruebas no destructivas.

* Además de los cilindros a 28 días, a menudo las especificaciones de obra solicitan uno o dos cilindros a 7 días y uno o más cilindros de "reserva". Los cilindros de reserva comúnmente se utilizan como respaldo en caso de que los cilindros a 28 días se dañen o de que no alcancen la resistencia. Cuando se den rupturas a 28 días bajas, el cilindro de reserva se ensayará a 56 días luego de un curado estándar.

La influencia de las maquinas de prueba calibrada se pueden observar en las formas de fracturas típicas de los cubos de pruebas, que se muestran en la Figura 6-3.

- 

1.- Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.
- 

2.- Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada o excediendo ésta.
- 

3.- Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o por deficiencia del material de cabeceo; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.
- 

4.- Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y/o por deficiencias del material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.
- 

5.- Se observa cuando se producen concentraciones esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga por deficiencia del material de cabeceo o rugosidades en el plato de cabeceo o placas de carga.
- 

6.- Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo o del plato del cabeceador.
- 

7.- Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias del paralelismo establecidos o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen para la aplicación de carga.

Fig. 6-3. Diagramas de fallas de cilindros sometidos a compresión.

Prueba de Flexión²

El índice de resistencia a la flexión de concreto simple se obtiene del ensaye de vigas de sección cuadrada, simplemente apoyadas y sujetas a una o dos cargas concentradas, como puede observarse en la Figura 6-4. La resistencia a

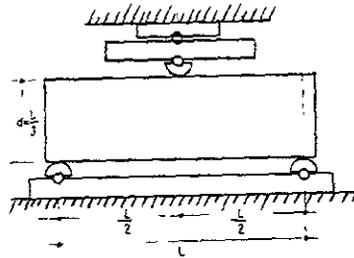


Fig. 6-4. Equipo para ensayar a Flexión por el método de carga al centro del claro.

la flexión es mayor en especímenes sujetos a una carga concentrada que en aquellos sujetos a dos cargas simétricas por que en el segundo caso la zona de esfuerzos máximos se presentan en una porción mayor del espécimen, lo que aumenta las posibilidades de que una región de menor resistencia que la promedio se encuentre en dicha zona: como puede observarse en la Figura 6-5, donde se presentan los resultados de módulos de ruptura de vigas de diferente tamaño, sometidas a cargas concentradas en el centro y a los tercios del claro.

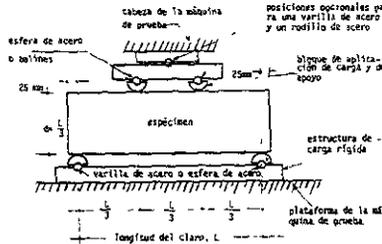


Fig. 6-5. Equipo para ensayar a flexión por el método Carga en los tercios.

La resistencia a la flexión se usa como índice de la resistencia, el cual es pertinente para diseño de pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje de concreto simple. No obstante, el prisma de concreto simple se usa también para medir la resistencia del concreto en tensión (modulo de ruptura) originada por la flexión.

Prueba Brasileña de Tensión

Esta prueba es utilizada debido a las dificultades que existen para realizar un ensaye de tensión uniaxial, tensión pura. Un método indirecto de aplicar la tensión, en forma de separación longitudinal, es la prueba brasileña, llamada así por deberse a Fernando Carneiro, de Brasil, aun cuando independientemente, también se desarrollo en Japón. En está prueba, un cilindro de concreto de los que se utilizan para las pruebas de compresión se coloca con su eje en posición horizontal entre las platinas de una máquina de prueba, y se aumenta la carga hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical.

En principio consiste en someter un cilindro a compresión lineal diametral, como se muestra en la Figura 6-6, la carga se aplica a través de un material relativamente suave, como triplay o corcho. Si el material fuera perfectamente elástico, se originarían esfuerzos de tensión uniformemente distribuidos en la mayor parte del plano diametral de carga, como se muestra en la Figura 6-7.

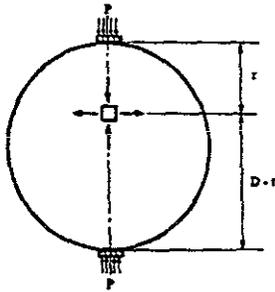


Fig. 6-6. Prueba brasileña de tensión.

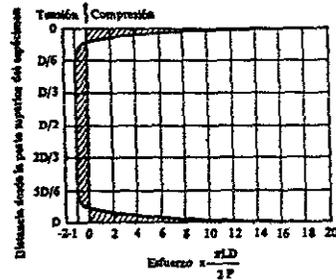


Fig. 6-7. Distribución del esfuerzo horizontal en un cilindro cargado sobre un ancho igual a 1/2 del diámetro.

La resistencia en tensión se calcula con la expresión.

$$f_t = \frac{2P}{DL}$$

Dónde

P = Carga máxima

D = Diámetro del espécimen

L = Longitud del espécimen

La prueba brasileña es fácil de efectuar y se producen resultados más uniformes que otras pruebas de tensión. La resistencia determinada en la prueba brasileña es, según se cree más apegada a la verdadera resistencia a la tensión del concreto que el módulo de ruptura; la resistencia a la tensión longitudinal es del 5% al 12% más alta que la resistencia a la tensión directa. Otra de las ventajas de la prueba brasileña consiste en que se puede usar el mismo tipo de muestra para las pruebas de compresión y de tensión.

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Prueba de Martillo de Rebote (Esclerómetro)³

Esta prueba también se le conoce como martillo de Schmidt, martillo de impacto suizo ó prueba de esclerómetro, y es un método no destructivo para probar el concreto. La prueba se basa en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie contra la cual la masa golpea. En la Figura 6-8 se muestra el martillo de rebote en el que la masa del resorte cargado tiene una cantidad fija de energía que se imparte a ella, extendiendo el resorte a una posición fija; esto se logra al presionar el pistón contra una superficie suave de concreto que tiene que ser soportada firmemente. Al soltar, la masa rebota del pistón (todavía en contacto con la superficie del concreto) y la distancia recorrida por la masa, expresada como porcentaje de la extensión inicial del resorte, se conoce como número de rebote y se indica por un aditamento móvil en una escala graduada. El número de rebote es una medida arbitraria ya que depende de la energía almacenada en el resorte y del tamaño de la masa.

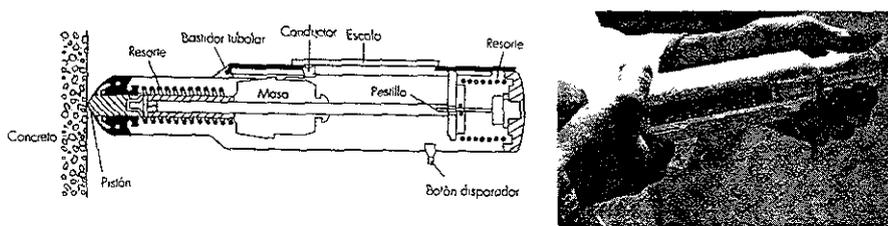


Fig. 6-8 Martillo de rebote (Prueba de esclerómetro, como comúnmente es conocida).

La prueba es sensible a la presencia de agregado y a los vacíos que están inmediatamente abajo del pistón, por lo que es necesario tomar de 10 a 12 lecturas del área a probar. El pistón debe estar siempre en posición normal respecto a la superficie de concreto, pero la posición del martillo en relación

con la vertical afecta el número de rebotes debido a la influencia de la gravedad en la masa móvil. Por lo tanto para un concreto dado, el número de rebotes de un suelo es más pequeño que el de un plafón, mientras que las superficies inclinadas y verticales arrojan valores intermedios; la variación verdadera se determina mejor experimentalmente.

No hay una relación única entre la dureza y la resistencia del concreto, pero las relaciones se pueden determinar experimentalmente para un concreto dado; la relación depende de los factores que afecten la superficie del concreto, tales como el contenido de humedad del concreto, tipo de acabado de superficie, tipo de agregado, edad del concreto (no se recomienda para un concreto con una edad de más de 90 días), y la proximidad del acero de refuerzo al punto de contacto. En consecuencia, la prueba del martillo de rebote es útil como una medida de uniformidad y calidad relativa del concreto en una estructura o en la manufactura de un número de miembros precolados similares, pero no como una prueba de aceptación.

Prueba de Pulso Ultrasónico⁴

La prueba de pulso ultrasónico ó prueba con soniscopio mide la velocidad con que se propagan las ondas del sonido de un golpe a través del concreto. Las pruebas de velocidad de la pulsación pueden usarse en estructuras para detectar el deterioro progresivo, el agrietamiento oculto, el alveolado y otros defectos. La velocidad de pulsación también puede usarse para localizar concreto con una calidad considerablemente menor que la especificada. Como resultado de diversos estudios en una amplia variedad de estructuras, se han deducido la siguiente descripción cualitativa del concreto, según por las mediciones de velocidad de pulsación:

Velocidades longitudinales del pulso km/s	Calidad del concreto
>4.5	Excelente
3.5 - 4.5	Buena
3.0 - 3.5	Dudosa
2.0 - 3.0	Deficiente
<2.0	Muy deficiente

El aparato genera una pulsación de vibraciones a una frecuencia ultrasónica que se transmite por un transductor electroacústico que se mantiene en contacto con la superficie del concreto bajo prueba. Después de pasar a través del concreto, las vibraciones se reciben y se convierten en una señal eléctrica por un segundo transductor electroacústico, alimenta la señal a través de un

amplificador a un osciloscopico de rayos catódicos. El tiempo tomado por la pulsación para viajar a través del concreto se mide por una unidad eléctrica de tiempo con una exactitud de ± 0.1 microsegundos, y si se conoce la longitud de la trayectoria recorrida a través del concreto, se puede calcular la velocidad de la pulsación.

Es necesario tener una pulsación de vibraciones de alta energía para dar una forma de onda, por que los limites de las fases de los materiales diversos dentro del concreto causan que la pulsación se refleje y se debilite; de hecho, se producen ondas superficiales, longitudinales (compresión) y transversales (corte). Para una sensibilidad máxima, la orilla guía de las ondas longitudinales se detecta mediante un transductor receptor localizado en la cara opuesta del concreto para el transductor emisor; esto es transmisión directa. En la Figura 6-9 se muestra esta disposición, junto con dos arreglos alternativos de los transductores: transmisión semidirecta y transmisión indirecta o de superficie; éstos utilizan la presencia de ondas transversales y de superficie. Las posiciones alternativas se usan cuando es imposible el acceso a dos lados opuestos del miembro del concreto pero se recibe la energía y, por lo tanto la exactitud es menor que en la transmisión directa.

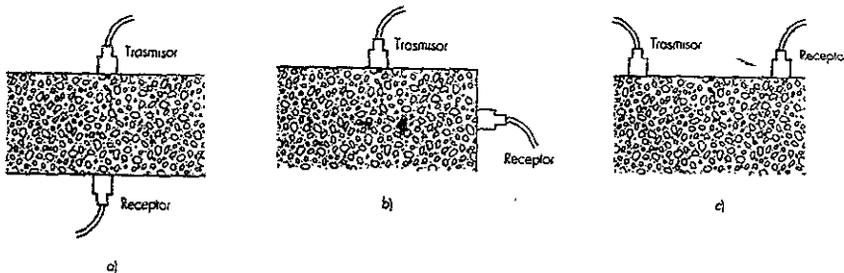


Fig. 6-9. Procedimientos de propagación y recepción de pulsos ultrasónicos
a) transmisión directa, b) transmisión semidirecta, c) transmisión indirecta ó superficie.

El uso principal del método se encuentra en el control de calidad del concreto similar: se puede detectar la ausencia de compactación y un cambio en la relación agua/cemento. La velocidad de pulsación no se puede emplear como indicador general de resistencia a la compresión por que, por ejemplo, el tipo de agregado grueso y su contenido en el concreto influye considerablemente en la relación entre la velocidad de pulsación y la resistencia. Otros factores que afectan dicha relación son el contenido de humedad, la edad, la presencia del refuerzo y la temperatura.

Si es necesario interpretar las velocidades de las pulsaciones en términos de resistencia a compresión, se deben obtener por lo menos seis corazones, y

preferentemente más, del concreto en cuestión. Estos corazones deben cubrir el intervalo de velocidades de pulsación encontradas, y deben tomarse en ubicaciones donde la velocidad se haya realmente medido. Después de una preparación apropiada, los corazones se prueban para determinar su resistencia a la compresión. Entonces se puede hacer una correlación de la velocidad de la pulsación con la resistencia. La correlación probablemente resulte curvilínea.

Otras aplicaciones importantes de la técnica de velocidad de pulsación se encuentran en la detección del desarrollo de grietas en estructuras tales como presas, y en el control del deterioro debido a congelación o reacciones químicas.

Prueba de Resistencia a la Penetración (Pistola de Winsor)⁵

Esta prueba estima la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de una varilla de metal dentro del concreto, con una cantidad de energía generada mediante una carga de pólvora estándar (Figura 6-10). El principio fundamental es que, para las condiciones de prueba estándar, la penetración es inversamente proporcional a la resistencia compresiva del concreto, pero la relación depende de la lisura de la superficie del concreto y por el tipo y dureza del agregado, en la práctica, la resistencia de penetración se debe correlacionar con la resistencia compresiva de los especímenes de prueba estándar o los corazones del concreto real usado.



Fig. 6-10 A la izquierda se muestra una pistola con aditamentos necesarios para realizar la prueba, a la derecha se observa el ensaye en donde se mide la longitud expuesta de la sonda y entonces se puede determinar la resistencia relativa a compresión del concreto por medio de una tabla de calibración.

Como en la prueba de martillo de rebote (esclerómetro), la prueba de resistencia a la penetración mide básicamente la dureza y no puede dar valores absolutos de resistencia, pero la ventaja de esta última prueba es que la dureza se mide sobre una cierta profundidad del concreto y no sólo en la superficie.

Prueba de Extracción (Pull-Out)⁶

Este método mide la fuerza requerida para extraer una varilla de acero previamente colada (generalmente de 25 mm. de diámetro) con un extremo agrandado y embebido, como se muestra en la Figura 6-11. Debido a su forma, la varilla de acero se arranca adherida a un trozo de concreto, este último de forma tronco de cono. La resistencia a la extracción se calcula con la relación de la fuerza al área idealizada del tronco, y es cercana a la resistencia de corte del concreto. La resistencia o fuerza de extracción se correlaciona con la resistencia compresiva de corazones o cilindros estándar para una amplia gama de condiciones de curado y edad.

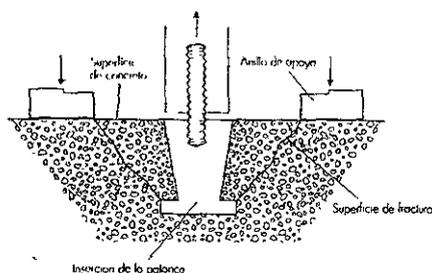


Fig. 6-11. Representación esquemática de la Prueba de Extracción (Pull-Out)

Esta prueba es superior a la prueba del martillo y a la resistencia a la penetración, la de extracción implica mayor volumen y mayor profundidad del concreto. El aspecto negativo es que existe la necesidad de reparar el concreto. Las varillas para la prueba deben situarse antes del colado, por lo que la prueba debe ser planeada de antemano.

Prueba de Corazones Extraídos del Concreto Endurecido⁷

La resistencia a compresión del concreto se determina a veces a partir de corazones extraídos de una estructura. Esto generalmente se hace cuando la resistencia a compresión de un concreto dado no se conoce, o debido a resultados dudosos de las pruebas de los cilindros de concreto. Se deberá de unificar un consejo de las partes responsables, las cuales deberán especificar en dónde y cuántos corazones habrán que obtener. Los corazones se obtienen usando un taladro para corazones, normalmente, se trata de unas brocas con puntas de diamante (generalmente de tungsteno). Los corazones no deberán extraerse sino hasta que el concreto se pueda muestrear sin dañar la unión entre el mortero y el agregado grueso. Para superficies horizontales, los corazones deberán de extraerse de manera vertical y no cerca de los bordes o

juntas formadas. Para las caras verticales o inclinadas, los corazones deberán extraerse perpendicularmente a la porción central del elemento de concreto (como se muestra en la Figura 6-12). Siempre que sea posible, se deberá evitar la extracción de corazones a través del acero de refuerzo. Se puede usar un pachómetro (dispositivo electromagnético) para localizar al acero. Se debe de tener mucho cuidado para no causar sobrecalentamiento y para evitar defectos obvios tales como bolsas de rocas y juntas.

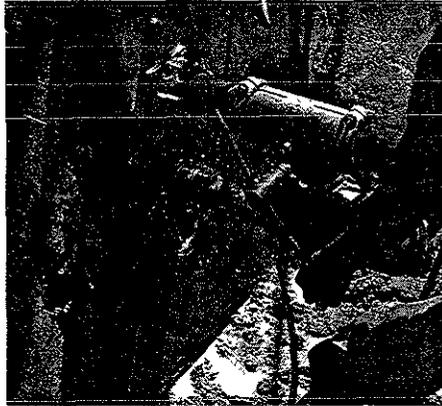


Fig. 6-12. Forma común para extraer núcleos o corazones de concreto en una estructura.

Cuando los corazones se usan para las determinaciones de resistencia a la compresión, la longitud debe ser preferentemente tan cercana como sea posible al doble del diámetro, y el diámetro debe ser, al menos, 3 veces el tamaño máximo del agregado en el concreto. Si es necesario, los extremos deben ser aserrados para producir una superficie pareja, y el corazón debe ser esmerilado o cabeceado para permitir una prueba apropiada.

La condición de humedad en el momento de la prueba afectará los resultados. Los corazones que se extraigan de estructuras que normalmente se encuentran saturadas o húmedas durante su servicio deberán acondicionarse en estado húmedo y probarse húmedos. Aquellos que provengan de estructuras que durante su servicio normalmente se encuentren secas, deberán acondicionarse en una atmósfera que se parezca a sus condiciones de servicio y probarse secos. Los corazones generalmente están inmersos en agua saturada con cal, por, al menos 40 horas inmediatamente antes de la prueba. Se pueden utilizar otras condiciones de humedad. El contenido de humedad del espécimen tiene un efecto considerable sobre la resistencia resultante. Un espécimen saturado causará una menor resistencia a la compresión y una

mayor resistencia a la flexión que las de especímenes hermanos probados en seco.

Se deberán tomar al menos tres corazones representativos de cada elemento o área de concreto en el sitio que se considere potencialmente deficiente. La localización de corazones según lo determinen las partes responsables deberá dañar lo menos posible la resistencia de la estructura. Si antes de las pruebas de corazones muestran evidencia de haber sido dañados después de, o durante su remoción de la estructura, se deberán tomar corazones de repuesto.

El nivel de resistencia del concreto en el área representada por las pruebas de corazones será considerado adecuado cuando el promedio de la resistencia a compresión de los corazones sea igual al menos al 85% de la resistencia a compresión f'_c especificada, y si ningún corazón individual tiene al menos del 75% de la resistencia a compresión especificada.

Cuando las pruebas de verificación de resistencia hayan concluido se deberán de rellenar los hoyos de los corazones con concreto de bajo revenimiento o mortero de una resistencia igual o de mayor que la del concreto original.

Otras pruebas

El uso de rayos X para ensayar las propiedades del concreto se encuentra limitado debido al elevado costo y peligro del equipo de alto voltaje necesario, así como los riesgos de radiación.

Se puede usar en el campo equipo de radiografía gamma para determinar la ubicación del acero de refuerzo, la ausencia de compactación o localización de vacíos, la densidad del concreto en el lugar sin endurecer y endurecido, y quizás los apanalamientos en los elementos de concreto estructural.

Se puede disponer de dispositivos de detección magnética que funcionan con baterías como el pachómetro o el medidor de recubrimiento con el propósito de medir la profundidad del concreto y para detectar la posición de las barras.

Se han desarrollado un método de absorción de microondas para determinar el contenido de humedad de los materiales porosos de construcción tales como el concreto. Las técnicas de emisión acústica dan muestras que en un futuro se podrían utilizar para el estudio de niveles de carga en la estructura y localizar el origen de los agrietamientos.

APLICACIÓN DE METODOS ESTADISTICOS PARA LA INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ACUERDO AL ACI 214-97⁸

Hoy en día, aprovechando el conocimiento de las técnicas estadísticas es posible controlar la uniformidad de las mezclas de concreto que se fabrican, y así obtener un producto de mejor calidad. Aunque los conceptos estadísticos para evaluar la resistencia aparecieron en 1957, todavía existe confusión al adoptar y aplicar estas valiosas técnicas. Quizá, el factor aislado más importante de los que obstaculiza el uso de los procedimientos estadísticos consiste en la tendencia natural a suponer que estos métodos son propios de científicos y matemáticos, esto es una lastima, ya que hay aplicaciones sencillas y prácticas de la curva de distribución normal para evaluar la calidad del concreto.

Es importante que las organizaciones que utilizan este material de construcción se acostumbren a la idea de utilizar la estadística para mejorar y hacer más económicas sus obras.

Con la utilización de métodos estadísticos es factible condensar la información obtenida y presentada en forma concisa y de fácil interpretación.

Los ensayos de concreto pueden o no incluir todas las variaciones de la resistencia del concreto colocado dependiendo de las variables que se introduzcan después de elaborados los especímenes de ensaye, por otro lado, las discrepancias en el muestreo, la fabricación, el curado y el ensaye de especímenes pueden indicar variaciones en la resistencia que en realidad no existen en el concreto colocado en la obra. Cuando las variaciones debidas a estas discrepancias son excesivas, es necesario aplicar al proyecto un factor de seguridad excesivamente grande. Los métodos de ensaye correctos reducen estas variaciones y por consiguiente deben establecer procedimientos estándar de ensaye.

Es evidente la importancia que tiene el emplear equipo de laboratorio adecuado, pues de este dependerá la precisión de los ensayos. Los resultados uniformes de ensayos no son necesariamente resultados de ensayos precisos. El equipo y los procedimientos de laboratorio deberán ser calibrados y verificados con periodicidad.

Los especímenes de ensaye indican la resistencia potencial de una estructura más que su resistencia real.

EVALUACION DE RESULTADOS

Normalmente los resultados de los ensayos de resistencia o compresión de especímenes de concreto en proyectos controlados caen dentro de la curva de distribución normal de frecuencias o de Gauss. (Figura 6-13).

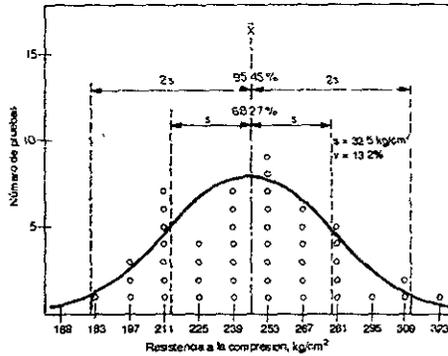


Fig. 6-13. Se muestra la distribución de frecuencias de resultados de resistencias y su correspondiente distribución normal.

Cuando hay un buen control, los valores de la resistencia serán más cercanos al valor promedio y la curva será alta y cerrada (Figura 6-14), si aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se dispersan y la curva se vuelve baja y abierta. Las abscisas representan las resistencias obtenidas en los ensayos y las ordenadas la frecuencia con que se representan dichas resistencias.

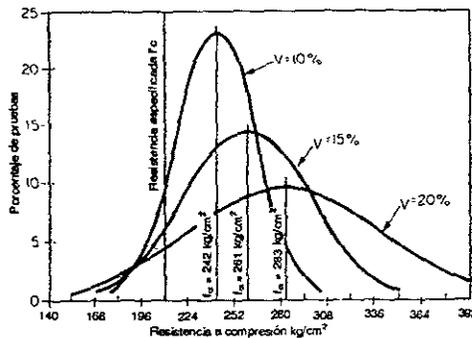


Fig. 6-14. Curvas de frecuencia normal y f_{cr} requerida para diferentes coeficientes de variación.

Para obtener la máxima información, deberán hacerse ensayos de compresión de un número suficiente para representar al concreto producido.

Existen varias funciones en la curva normal de frecuencias que son útiles para comprender la información recibida.

Media o promedio

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

X_1, X_2, \dots, X_n .- Promedio de los resultados de los especímenes que componen una muestra.

n = Número total de muestras, entendiéndose por una muestra el número total de especímenes que se obtienen de una misma revoltura y se ensayan a la misma edad.

Desviación estándar: $\sqrt{\quad}$:

La medida más usual de dispersión con respecto al valor central 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, la desviación estándar puede considerarse como el radio respecto al centro del área comprendida bajo la curva teórica de probabilidad.

$$\sqrt{\quad} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n}}$$

En algunos textos de estadística n aparece como $(n - 1)$ pero esto no es significativo, ya que el número mínimo de muestras que debe analizarse debe ser de 30.

Esta función permite expresar el grado de dispersión como valor absoluto.

La siguiente tabla 6.2 tomada del ACI 214-97 sirve como guía para evaluar el grado de control en la uniformidad de la fabricación del concreto, en función de la desviación estándar.

Tabla.- 6.2 Evaluación del grado de control de la uniformidad de la fabricación del concreto (kg / cm²)

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Por debajo de 25	de 25 a 35	de 35 a 40	de 40 a 50	de 50

NOTA: esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad especificada.

Intervalo "R"

Se determina restando la resistencia más baja de la resistencia más alta del grupo de especímenes que integran una muestra. El intervalo es útil para calcular la desviación estándar y posteriormente el coeficiente de variación en los ensayos del laboratorio.

Las variaciones en los ensayos de resistencia pueden deberse a dos causas diferentes:

1. Propiedades de la mezcla de concreto, y
2. Discrepancias en los métodos de ensayos.

Es posible por un análisis calcular las variaciones debidas a cada una de las causas.

Las variaciones en la resistencia del concreto, dentro de una revoltura, se encuentran determinando, las variaciones de especímenes fabricados de esa misma revoltura, es conveniente suponer que una muestra de concreto es uniforme y, que por lo tanto, cualquier variación entre especímenes compañeros fabricados de dicha muestra se debe a discrepancias en la fabricación, en el curado o en el ensaye. Las muestras tomadas de diferentes partes de una revoltura pueden incluir variaciones debidas a la ineficiencia de las mezcladoras.

Los especímenes compañeros fabricados de muestras tomadas de diversas partes de la revoltura pueden usarse para diferenciar entre la eficiencia de la mezcladora y la eficiencia del ensaye. Una sola revoltura de concreto no proporciona información suficiente para el análisis estadístico por lo que se recomienda fabricar y ensayar especímenes compañeros de por lo menos diez muestras tomadas de diferentes revolturas para poder establecer valores confiables de R. La desviación estándar y el coeficiente de variación en los ensayos se calculan como sigue:

$$\sqrt{s} = \frac{1}{d} \times \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{1\sqrt{x}}{\bar{X}} 100$$

$\sqrt{1}$ = Desviación estándar de los ensayos.

d = Constante que depende del número de especímenes por muestra (tabla 6.3).

\bar{R} = Promedio o media del total de intervalos.

V_1 = Coeficiente de variaciones de ensayos.

\bar{X} = Resistencia promedio de todas las muestras.

Tabla.- 6.3 Factores para calcular la desviación estándar de los ensayos.

Número de especímenes	d	1/d
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299

Este proceso que permite calcular las discrepancias en los métodos de ensaye tiene la ventaja de que constantemente se obtiene información de la calidad del trabajo de los operarios y del laboratorio en general.

La tabla 6.4 tomada de ACI 214-97 califica el grado de control del laboratorio en función de los valores de V_1 .

Tabla.- 6.4 Evaluación del grado de control del laboratorio.

Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Por debajo de	de	De	De	Arriba de
3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	6

Nota: Esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad especificada

Existen diversos criterios para la evaluación⁹ de uniformidad de las mezclas de concreto como las que se presentan a continuación:

GRADOS DE CALIDAD

Grados de Calidad A.- (sólo para resistencia a compresión)

El concreto debe cumplir con los siguientes:

- a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia tengan valor inferior a la resistencia especificada $f'c$ se requiere un mínimo de 30 pruebas
- b) No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia consecutiva será inferior a la resistencia especificada
- c) No más de 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos 50 kg/cm^2 .

Grado de calidad B.- (resistencia a compresión y resistencia a flexión)

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia consecutivas puede ser igual o menor que la resistencia especificada.
- c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos 35 kg/cm^2 o resistencia a la flexión "MR" menos 4 kg/cm^2 .

Para satisfacer estos requisitos, la resistencia promedio del concreto será obviamente mayor que la resistencia del proyecto $f'c$, dependiendo de la uniformidad esperada en la producción del concreto y del porcentaje que se permite de resultados de ensayos inferiores a la resistencia de proyecto. La resistencia promedio requerida; puede obtenerse haciendo uso de las formulas siguientes:

$$fcr = f'c + \sqrt{t}$$

$$fcr = f'c - k + \sqrt{t}$$

$$fcr = f'c + \frac{t \sqrt{t}}{\sqrt{n}}$$

fcr = Resistencia promedio requerida en kg/cm^2 .

$f'c$ = Resistencia de proyecto especificada en kg/cm^2 .

t = Constante que depende de la porción de resultados inferiores a $f'c$ y del número de muestras empleadas para calcular la desviación estándar (Tabla 6.5).

$\sqrt{\quad}$ = Desviación estándar de las muestras en kg/cm^2 .

- n = Número promedio consecutivos.
- k = Valor que depende del grado de calidad del concreto. 50 para el grado de calidad A y de 35 para el grado de calidad B.

Tabla.- 6.5 Valores de t*

Número de muestras Menos 1	Probabilidad de caer debajo del límite inferior	
	2 en 10	1 en 10
2	1.061	1.886
3	0.978	1.638
4	0.941	1.533
5	0.920	1.476
6	0.906	1.440
7	0.896	1.415
8	0.889	1.397
9	0.883	1.383
10	0.879	1.372
15	0.866	1.341
20	0.860	1.325
25	0.856	1.316
30	0.854	1.310
	0.842	1.282

* los valores de t se tomaron de la tabla original debida a Fisher y Yates "Statistic tables for Biological Agriculture y Medical Research".

El procedimiento para hacer uso de la estadística en la evaluación de resultados de resistencia a compresión del concreto se puede explicar con mayor detalle en el ejemplo ilustrativo, que a continuación se presenta.

Los datos aquí presentes son una recopilación de la construcción de la "Planta de Selección y Recuperación de Sub-productos de Desechos Sólidos. IV Etapa Bordo Poniente. Modulo A, Ex-lago de Texcoco", en la cual realice trabajos de Supervisión de obra.

METODOS ESTADISTICOS PARA LA INTERPRETTACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO

Propietario: Dirección General de Servicios Urbanos (D.G.S.U. - D.D.F.).

Obra: Planta de Selección y Recuperación de Sub-productos de Desechos Sólidos. IV Etapa Bordo Poniente. Modulo A, Ex-lago de Texcoco.

Constructora: "Suarez" S, A. de C, V.

Premezclador: Concretos de Alta Resistencia, S.A. de C.V. (CARSA).

Fecha de Evaluación: 23 de Abril de 1993.

Periodo de Muestreo: Del 21 de Diciembre de 1992 al 26 de Marzo de 1993.

Edad de Ensaye: 28 Días.

Número de cilindros por muestra: 2.

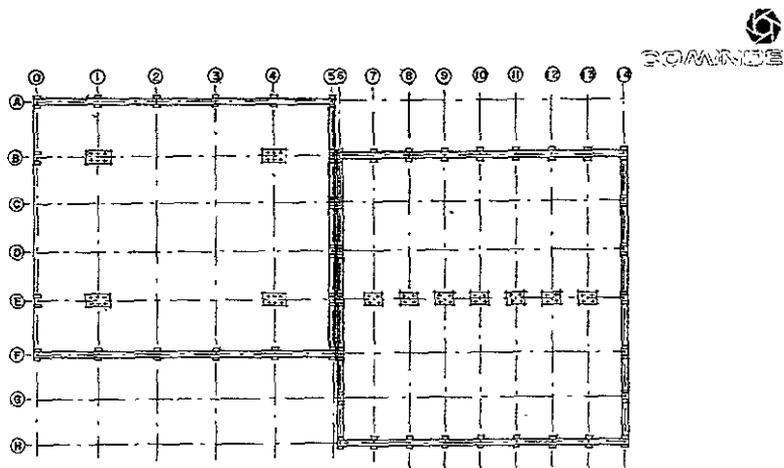
f'c proyecto: 250 kg/cm².

Método de diseño estructural: Diseño Plástico.

Número de muestras en Estudio: 150

LABORATORIO: GEOSOL S.A. de C.V.

Planta de Selección y Recuperación de Sub-productos de Desechos Sólidos. IV Etapa
Bordo Poniente. Modulo A, Ex-lago de Texcoco



Muestra Eje N°	Elemento	Resistencia (kg/cm ²)		Promedio (kg/cm ²)	Intervalo (kg/cm ²)	Promedio de 3 Muestras consecutivas
		Cil. 1	Cil. 2			
A-0-1	Dado de cimentación	261.0	261.0	261.0	0.0	241.3**
A-1-2	Dado de cimentación	236.0	233.0	234.5	3	220.2**
A-2-4	Dado de cimentación	226.0	231.0	228.5	5	223.3**
A-3-5	Dado de cimentación	224.0	219.0	221.5	5	217.8**
A-4-6	Dado de cimentación	219.0	221.0	220.0	2	213.0**
A-5-7	Dado de cimentación	211.0	213.0	212.0*	2	226.3**
A-7-7	Dado de cimentación	205.0	209.0	207.0*	4	239.0**
A-8-8	Dado de cimentación	260.0	260.0	260.0	0	251.0
A-9-9	Dado de cimentación	250.0	250.0	250.0	0	240.7**
A-10-10	Dado de cimentación	241.0	245.0	243.0	4	227.7**
A-11-11	Dado de cimentación	226.0	232.0	229.0	6	228.8**
A-12-12	Dado de cimentación	211.0	211.0	211.0*	0	232.0**
A-13-13	Dado de cimentación	249.0	244.0	246.5	5	240.5**
A-14-14	Dado de cimentación	236.0	241.0	238.5	5	241.8**
B-0-15	Dado de cimentación	238.0	235.0	236.5	3	245.7**
B-1-16	Dado de cimentación	252.0	249.0	250.5	3	249.5**
B-4-17	Dado de cimentación	248.0	252.0	250.0	4	245.7**
B-5-18	Dado de cimentación	252.0	244.0	240.0	8	248.5**
B-6-19	Dado de cimentación	237.0	241.0	239.0	4	246.3**
B-7-20	Dado de cimentación	261.0	256.0	258.5	5	258.3
B-8-21	Dado de cimentación	245.0	238.0	241.5	7	246.8**
B-9-22	Dado de cimentación	273.0	277.0	275.0	4	237.3**
B-10-23	Dado de cimentación	227.0	221.0	224.0	6	219.0**
B-11-24	Dado de cimentación	211.0	215.0	213.0*	4	214.3**
B-12-25	Dado de cimentación	219.0	221.0	220.0	2	215.3**
B-13-26	Dado de cimentación	210.0	210.0	210.0*	0	205.0**
B-14-27	Dado de cimentación	215.0	217.0	216.0	2	204.0**
C-5-28	Dado de cimentación	189.0	192.0	190.5*	3	199.8**
C-6-29	Dado de cimentación	204.0	207.0	205.5*	3	202.2**
C-14-30	Dado de cimentación	208.0	199.0	203.5*	9	209.5**
D-5-31	Dado de cimentación	253.0	253.0	253.0	0	287.3
D-6-32	Dado de cimentación	318.0	315.0	316.5	3	296.3
D-14-33	Dado de cimentación	291.0	294.0	292.5	3	261.5
E-0-34	Dado de cimentación	280.0	280.0	280.0	0	264.3
E-1-35	Dado de cimentación	211.0	213.0	212.0*	2	251.0
E-4-36	Dado de cimentación	301.0	301.0	301.0	0	280.7
E-5-37	Dado de cimentación	240.0	240.0	240.0	0	268.3
E-6-38	Dado de cimentación	302.0	300.0	301.0	2	275.5
E-7-39	Dado de cimentación	264.0	264.0	264.0	0	266.5
E-8-40	Dado de cimentación	259.0	264.0	261.5	5	268.2
E-9-41	Dado de cimentación	274.0	274.0	274.0	0	283.8
E-10-42	Dado de cimentación	270.0	268.0	269.0	2	292.2
E-11-43	Dado de cimentación	311.0	306.0	308.5	5	302.8
E-12-44	Dado de cimentación	300.0	298.0	299.0	2	302.5
E-13-45	Dado de cimentación	301.0	301.0	301.0	0	299.3
E-14-46	Dado de cimentación	304.0	311.0	307.5	7	298.8
F-0-47	Dado de cimentación	290.0	289.0	289.5	1	284.8
F-1-48	Dado de cimentación	301.0	298.0	299.5	3	282.5
F-2-49	Dado de cimentación	265.0	266.0	265.5	1	266.7
F-3-50	Dado de cimentación	284.0	281.0	282.5	3	261.7
F-4-51	Dado de cimentación	249.0	255.0	252.0	6	246.8**
F-5-52	Dado de cimentación	249.0	252.0	250.5	3	233.3**
F-6-53	Dado de cimentación	238.0	238.0	238.0	0	231.7**
F-14-54	Dado de cimentación	207.0	216.0	211.5*	9	230.0**

Muestra Eje N°	Elemento	Resistencia (kg/cm ²)		Promedio (kg/cm ²)	Intervalo (kg/cm ²)	Promedio de 3 Muestras Consecutivas
		Cil. 1	Cil. 2			
G-6-55	Dado de cimentación	244.0	247.0	245.5	3	245.8**
G-14-56	Dado de cimentación	234.0	232.0	233.0	2	242.7**
H-6-57	Dado de cimentación	268.0	258.0	259.0	2	261.0
H-7-58	Dado de cimentación	234.0	238.0	236.0	4	256.0
H-8-59	Dado de cimentación	287.0	289.0	288.0	2	246.3**
H-9-60	Dado de cimentación	244.0	244.0	244.0	0	233.3**
H-10-61	Dado de cimentación	204.0	210.0	207.0*	6	244.0**
H-11-62	Dado de cimentación	248.0	250.0	249.0	2	261.7
H-12-63	Dado de cimentación	276.0	276.0	276.0	0	250.0
H-13-64	Dado de cimentación	260.0	260.0	260.0	0	237.5**
H-14-65	Dado de cimentación	214.0	214.0	214.0*	0	224.7**
A-0-66	Columna	236.0	241.0	238.5	5	233.7**
A-1-67	Columna	217.0	226.0	221.5	9	244.2**
A-2-68	Columna	240.0	242.0	241.0	2	251.3
A-3-69	Columna	271.0	269.0	270.0	2	259.3
A-4-70	Columna	239.0	247.0	243.0	8	260.5
A-5-71	Columna	265.0	265.0	265.0	0	261.5
A-7-72	Columna	274.0	273.0	273.5	1	264.5
A-8-73	Columna	246.0	246.0	246.0	0	256.8
A-9-74	Columna	275.0	273.0	274.0	2	252.7
A-10-75	Columna	250.0	251.0	250.5	1	259.8
A-11-76	Columna	232.0	235.0	233.5	3	273.8
A-12-77	Columna	294.0	297.0	295.5	3	295.3
A-13-78	Columna	294.0	291.0	292.5	3	309.8
A-14-79	Columna	297.0	299.0	298.0	2	315.7
B-0-80	Columna	337.0	341.0	339.0	4	303.2
B-1-81	Columna	309.0	311.0	310.0	2	270.0
B-4-82	Columna	260.0	261.0	260.5	1	250.8
B-5-83	Columna	240.0	244.0	242.0	4	240.0**
B-6-84	Columna	250.0	250.0	250.0	0	243.7**
B-7-85	Columna	227.0	229.0	228.0	2	238.5**
B-8-86	Columna	252.0	254.0	253.0	2	247.0**
B-9-87	Columna	232.0	237.0	234.5	5	254.7
B-10-88	Columna	256.0	251.0	253.5	5	258.8
B-11-89	Columna	276.0	276.0	276.0	0	261.0
B-12-90	Columna	249.0	245.0	247.0	4	264.7
B-13-91	Columna	260.0	260.0	260.0	0	300.2
B-14-92	Columna	287.0	287.0	287.0	0	301.8
C-5-93	Columna	356.0	351.0	353.5	5	292.0
C-6-94	Columna	260.0	270.0	265.0	10	258.0
C-14-95	Columna	260.0	255.0	257.5	5	259.2
D-5-96	Columna	255.0	248.0	251.5	7	281.5
D-6-97	Columna	270.0	267.0	268.5	3	246.5**
D-14-98	Columna	326.0	323.0	324.5	3	276.0
E-0-99	Columna	245.0	240.0	242.5	5	246.0**
E-1-100	Columna	261.0	261.0	261.0	0	241.3**
E-4-101	Columna	236.0	233.0	234.5	3	228.2**
E-5-102	Columna	226.0	231.0	228.5	5	223.3**
E-6-103	Columna	224.0	219.0	221.5	5	217.8**
E-7-104	Columna	219.0	221.0	220.0	2	213.0**
E-8-105	Columna	211.0	213.0	212.0*	2	226.3**
E-9-106	Columna	205.0	209.0	207.0*	2	239.0**
E-10-107	Columna	260.0	260.0	260.0	4	239.0**
E-11-108	Columna	250.0	250.0	250.0	0	235.3**

Muestra Eje N°	Elemento	Resistencia (kg/cm ²)		Promedio (kg/cm ²)	Intervalo (kg/cm ²)	Promedio de 3 Muestras Consecutivas
		Cil. 1	Cil. 2			
E-12-109	Columna	204.0	210.0	207.0*	6	244.0**
E-13-110	Columna	248.0	250.0	249.0	2	261.7
E-14-111	Columna	276.0	276.0	276.0	0	250.0
F-0-112	Columna	260.0	260.0	260.0	0	237.5**
F-1-113	Columna	214.0	214.0	214.0*	0	224.7**
F-2-114	Columna	236.0	241.0	238.5	5	233.7**
F-3-115	Columna	217.0	226.0	221.5	9	244.2**
F-4-116	Columna	240.0	242.0	241.0	2	251.3
F-5-117	Columna	271.0	269.0	270.0	2	259.3
F-6-118	Columna	239.0	247.0	243.0	8	260.5
F-14-119	Columna	265.0	265.0	265.0	0	261.5
G-6-120	Columna	274.0	273.0	273.5	1	264.5
G-14-121	Columna	246.0	246.0	246.0	0	256.8
H-6-122	Columna	275.0	273.0	274.0	2	252.7
H-7-123	Columna	250.0	251.0	250.5	1	259.8
H-8-124	Columna	232.0	235.0	233.5	3	273.8
H-9-125	Columna	294.0	297.0	295.5	3	295.3
H-10-126	Columna	294.0	291.0	292.5	3	309.8
H-11-127	Columna	297.0	299.0	298.0	2	315.7
H-12-128	Columna	337.0	341.0	339.0	4	303.2
H-13-129	Columna	309.0	311.0	310.0	2	270.0
H-14-130	Columna	260.0	261.0	260.5	1	250.8
A(0-1)-131	Muro reforzado	240.0	244.0	242.0	4	240.0**
A(1-2)-132	Muro reforzado	250.0	250.0	250.0	0	243.7**
A(2-3)-133	Muro reforzado	227.0	229.0	228.0	2	238.5**
A(3-4)-134	Muro reforzado	252.0	254.0	253.0	2	247.0**
A(4-5)-135	Muro reforzado	232.0	237.0	234.5	5	254.7
F(0-1)-136	Muro reforzado	256.0	251.0	253.5	5	258.8
F(1-2)-137	Muro reforzado	276.0	276.0	276.0	0	261.0
F(2-3)-138	Muro reforzado	249.0	245.0	247.0	4	264.7
F(3-4)-139	Muro reforzado	260.0	260.0	260.0	0	300.2
F(4-5)-140	Muro reforzado	287.0	287.0	287.0	0	301.8
6(F-G)-141	Muro reforzado	356.0	351.0	353.5	5	292.0
6(G-H)-142	Muro reforzado	260.0	270.0	265.0	10	258.0
H(6-7)-143	Muro reforzado	260.0	255.0	257.5	5	259.2
H(7-8)-144	Muro reforzado	255.0	248.0	251.5	7	281.5
H(8-9)-145	Muro reforzado	270.0	267.0	268.5	3	246.5**
H(9-10)-146	Muro reforzado	326.0	323.0	324.5	3	276.0
H(10-11)-147	Muro reforzado	245.0	240.0	242.5	5	246.0**
H(11-12)-148	Muro reforzado	261.0	261.0	261.0	0	241.3**
H(12-13)-149	Muro reforzado	236.0	233.0	234.5	3	
H(13-14)-150	Muro reforzado	226.0	231.0	228.5	5	

* INDICA AQUELLOS PROMEDIOS DE LOS CILINDROS DE LAS MUESTRAS CUYA RESISTENCIA ES DE MAS DE 35 KG/CM² POR DEBAJO DE LA f_c DE PROYECTO.

** INDICA AQUELLOS PROMEDIOS DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS CUYA RESISTENCIA ES MENOR QUE f_c DE PROYECTO.

De esta serie de datos se obtiene:

$$\text{Media} = \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{150}}{150} = 255.56 \text{ kg/cm}^2$$

Desviación Estándar:

$$\begin{aligned} \sqrt{\quad} &= \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_{150} - \bar{X})^2}{150}} \\ &= 31.68 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Media de intervalos} = \bar{R} = 2.93 \text{ kg/cm}^2$$

Desviación estándar de los ensayos = $\sqrt{1} = \frac{1}{d} \times \bar{R}$
 (d= 1.128 Tabla 2)

$$\sqrt{1} = \frac{1}{1.128} \times 2.933 = 2.60 \text{ kg/cm}^2$$

Coefficiente de variación de los ensayos = $V_1 = \frac{\sqrt{1}}{\bar{x}} \times 100$

$$= \frac{2.60}{255.56} \times 100 = 1.02\%$$

Las cuales nos sirven para deducir las siguientes conclusiones de la construcción de la Planta de Selección y Recuperación de Desechos Sólidos, basándose en la Normas ACI 214-97 y N.O.M. C-155-1987.

CONCLUSIONES

NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO ACI 214 - 97

Evaluación del grado de control en la uniformidad de la fabricación del concreto

La desviación estándar es de 31.68 kg/cm^2 de donde se deduce conforme al ACI 214-97 el grado de control en la uniformidad del concreto **ES MUY BUENO** De acuerdo a la Tabla 6.2.

Evaluación del grado de control de laboratorio

El coeficiente de variación de los ensayos es de 1.02% de donde se deduce que conforme al ACI 214-97 el grado de control de laboratorio es **EXCELENTE** de acuerdo a la Tabla 6.4.

N.O.M. C 155 - 1987

El promedio total de resistencias de los cilindros de las muestras es de 255.56 kg/cm^2 .

INCISO 5.1.1.2. (A)

Se tiene el 42.0% del total de promedios de $f'c$ de los cilindros de la muestra por debajo de la $f'c$ de proyecto y el límite aceptado es de 10% para diseño plástico o presforzado por lo tanto estas muestras **NO CUMPLEN** esta norma.

INCISO 5.1.1.2.(B)

Se tiene 68 promedios de 3 muestras consecutivas cuyas resistencias son menores de la $f'c$ de proyecto. Estas muestras **NO CUMPLEN** esta norma, ya que en base al 1% del número de muestras de estudio solo 1 promedios pueden tener una resistencia menor a la $f'c$ de proyecto.

INCISO 5.1.1.1.(C)

Se tienen 16 promedios de $f'c$ de los cilindros de las muestras cuya resistencia es de más de 35 kg/cm^2 por debajo de la $f'c$ de proyecto. Estas muestras **NO CUMPLEN** esta norma ya que en base al 1% del número de muestras en estudio solo 1 promedio pueden tener una resistencia de más de 35 kg/cm^2 por debajo de la $f'c$ de proyecto.

De acuerdo a estos datos estadísticos se puede determinar que:

1. La deficiencia en la resistencia del concreto utilizado se puede deber a un mal cálculo en el proporcionamiento de los elementos que componen a éste.
 2. La importancia de observar la estadística en la interpretación de resultados recomienda, que la resistencia promedio (f_{or}) del concreto debe ser superior a la resistencia de diseño $f'c$. Esta diferencia en la resistencia dependerá de variabilidad esperada en los resultados de las pruebas y del proporcionamiento permisible de muestras con resultados menores que con los indicados en el nivel de resistencia.
 3. La resistencia promedio requerida (f_{cr}) que se debe tomar en cuenta para cualquier diseño puede ser calculada mediante las ecuaciones:
-

$$f_{cr} = f'_c + t \sqrt{\quad}$$

$$f_{cr} = f'_c - k + \sqrt{\quad}$$

$$f_{cr} = f'_c + t \sqrt{\quad} / \sqrt{n}$$

Generalizando se puede decir:

1. 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.
2. La resistencia del concreto debe derivarse de un conjunto de ensayos, a partir de los cuales se puede estimar en forma más precisa la uniformidad y las características del concreto.
3. No se debe confiar demasiado en los resultados de unos cuantos ensayos, las conclusiones que se deriven pueden ser erróneas.
4. No resulta práctico especificar una resistencia mínima ya que cuando exista un buen control, siempre cabe la posibilidad de resistencias todavía más bajas.
5. Es un error concluir que la resistencia de una estructura está en peligro cuando sólo un ensayo no cumple con los requisitos de resistencia especificada.
6. Son inevitables las variaciones casuales y las fallas ocasionales en el cumplimiento de los requisitos de resistencia.
7. En el diseño se proporcionan factores de seguridad que permiten obtener resistencias específicas, sin poner en peligro la seguridad de la estructura.
8. Estos factores 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.
9. 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.

- 1 ASTM C 470-87 Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically
- 2 ASTM C 78-84 Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
- 3 ASTM C 805-85 Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete
- 4 ASTM C 597-83 Test Method for Pulse Velocity Through Concrete
- 5 ASTM C 803-82 Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete

- 6 ASTM C 900-82 Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete
- 7 ASTM C 42-85 Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- 8 ASTM C 214-97 Practica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto
- 9 NOM C 155-87 Concreto Premezclado. Especificaciones.



CONTROLES DE CALIDAD PARA CONSOLIDAR EL CONCRETO A UTILIZAR EN OBRA

Cuando se han completado las operaciones de dosificación y mezclado, para obtener un concreto un concreto satisfactorio se requiere de lo siguiente:

- a) Que el concreto se maneje y se transporte con un mínimo de segregación y de pérdida de revenimiento.
- b) Que el concreto se coloque en el lugar donde va a quedar.
- c) Que el concreto se coloque en capas lo suficientemente delgadas para garantizar que la vibración penetre en la capa subyacente y que el tiempo transcurrido entre la colocación de una capa y la siguiente se reduzca al mínimo a fin de evitar juntas frías.
- d) Que las juntas se hagan en concreto sano y limpio.
- e) Que las operaciones de acabado y su programación se base únicamente y exclusivamente en la disponibilidad.
- f) Que el curado se realice de tal manera que en ningún momento durante el tiempo prescrito el concreto carezca de la suficiente humedad y control de temperatura que impidan lograr el desarrollo total de su resistencia potencial y de su durabilidad.

El éxito final de las operaciones de concreto involucran la preparación del sitio, la supervisión de la planta de dosificación, la transportación al sitio, el manejo del concreto en el sitio, y el cuidado después de la colocación.

CONDICIONES DE SITIO

No se debe dar comienzo a las operaciones de colado del concreto a menos que se cumplan los requisitos respecto a la preparación del sitio, así como la ubicación y las condiciones de las cimbras y del refuerzo.

Se deberá revisar la secuencia de colocación planeada; algunas veces se prohíbe el colado en la noche (para asegurar la visibilidad) o durante periodos de calor o frío extremos, viento o lluvia, a menos que se procure cierta protección específica del trabajo. En algunos casos se exige que el colado del concreto se realice por la noche en clima caliente, para reducir la evaporación y reducir la temperatura del concreto, especialmente para estructuras en las que el agrietamiento puede ser problema, tal como los tableros de puentes, pavimentos, y concreto masivo. Una iluminación adecuada para el trabajo en la noche será suficiente

Hay que procurar no vaciar el concreto en algunos lugares (ejem. Columnas y muros), hasta que se haya transcurrido el período especificado para permitir

el asentamiento, el endurecimiento, o el enfriamiento del concreto previamente colado.

La entrega del concreto no debe ser tan rápida que resulte difícil o imposible la colocación y la consolidación. Sin embargo, la entrega, colocación y consolidación del concreto debe ser lo suficientemente rápida para evitar retrasos indebidos, y especialmente para evitar la formación de juntas frías. Los retrasos contribuyen a la pérdida de y variaciones en el revenimiento.

Hay que verificar el equipo para una operación apropiada, y tener a la mano el suficiente equipo para asegurar la continuidad en la colocación por si se presenta alguna falla en alguno. Se debe asignar personal suficiente para el trabajo. Por ejemplo, las áreas grandes de losas coladas en clima calientes requieren de un mayor número de acabadores y una mejor programación de las operaciones que las mismas losas construidas en clima frío.

TRANSPORTE Y MANEJO DEL CONCRETO

No existe una forma perfecta para transportar y manejar el concreto, una planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más adecuado evitando así la ocurrencia de problemas. La planeación deberá tener en consideración tres eventos que, en caso que sucedan durante el manejo y la colocación, podrían afectar seriamente la calidad del trabajo terminado:

1.-Retrasos. El objetivo que se persigue al planear cualquier calendario de trabajo, es producir el trabajo con la mayor rapidez contando con la mejor fuerza laboral y con el equipo adecuado para realizarlo. Las máquinas para transportar y para manejar al concreto se han ido modernizando continuamente. Se logrará una productividad máxima si se planea el trabajo para aprovechar al máximo al personal y al equipo y si se elige el equipo de manera que se reduzca el tiempo de retraso durante la colocación del concreto.

2.-Endurecimiento temprano y secado. El concreto comienza a endurecer en el momento en que se mezcla el cemento con el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre durante los primeros 30 minutos normalmente no presentan problemas; por lo general, el concreto que se haya mantenido en agitación se puede colocar y compactar dentro de la primera hora y media posterior al mezclado. La planeación deberá eliminar o minimizar cualquier variable que permita que el concreto endurezca hasta el grado en que no se pueda lograr una completa consolidación y se dificulte efectuar el acabado. Se dispone de menos tiempo cuando existen condiciones que aceleran el proceso de endurecimiento, como ocurre en los climas cálidos y secos; con el uso de aditivos acelerantes; y con el uso de concreto calentado.

3.-Segregación. La segregación es la tendencia que presenta el agregado grueso a separarse del mortero cemento-arena. Esto tiene como consecuencia que parte de la mezcla tenga una cantidad demasiado pequeña de agregado grueso y el resto tenga agregado grueso en cantidades excesivas. Probablemente la primera parte se contraerá mas y se agrietará y tendrá una baja resistencia a la abrasión. La segunda será demasiado áspera para lograr una consolidación y acabados totales y será causa frecuente de apanalamientos. Los métodos y equipos que lleguen a usarse para transportar y manejar concreto no deberá ser causa de segregación ó perdida de ingredientes.

Se utilizan muchos tipos de aparatos para el transporte, ya sea solos o en combinación con otros (botes, carretones, carretillas, camiones, etc.). La tabla 7-1 recopila los métodos y equipos más comunes para mover el concreto hasta el punto donde se requiera.

En los últimos 50 años ha habido pocos cambios importantes, si acaso, en los principios de transportar el concreto. Lo que ha cambiado es la tecnología que ha llevado al desarrollo de una mejor maquinaria para ejecutar el trabajo con mayor eficiencia. La carretilla y el carretón, aunque aún se emplean, han evolucionado para llegar a la carretilla motorizada (Figura 7-1); la tolva arrastrada por una rueda de polea se ha convertido en un cucharón y grúa (Figura 7-2); y el vagón tirado por caballos ahora es el camión de concreto premezclado (Figura 7-3).

Hace años el concreto se colocaba en los edificios de concreto reforzado por medio de una torre y largos canalones. Era una torre contraventeada colocada en el centro del sitio, con un embudo en su parte superior al cual se llevaba el concreto mediante un malacate. Una serie de canalones suspendidos desde la torre permitían que el concreto fluyera por gravedad directamente al punto requerido. Conforme los edificios a base de marcos de concreto fueron haciéndose más altos, la necesidad de levantar tanto el refuerzo y la cimbra como el concreto a niveles superiores condujo al desarrollo de la torre-grúa (Figura 7-4). Es rápida y versátil, aunque al planear cualquier trabajo se debe tener en cuenta el hecho de que solamente posee un gancho.

A pesar de ser vieja en concepto, la banda transportadora ha cambiado poco con el paso de los años (Figura 7-5). Las bandas transportadoras montadas sobre camiones mezcladores han entrado en uso recientemente. El proceso neumático para el concreto lanzado fue patentado en 1911 y ha permanecido literalmente sin cambios (Figura 7-6). La primera bomba mecánica para el concreto fue desarrollada y empleada en la década de los treinta y la bomba hidráulica fue desarrollada en los cincuenta (Figura 7-7). La avanzada bomba

Tabla 7-1 Métodos y equipo para transportar y manejar concreto.

Equipo	Tipo y rango de trabajo para el cual el equipo es más adecuado	Ventajas	Puntos a vigilar
Bombas	Empleadas para transportar directamente concreto desde el punto central de descarga hasta la cimbra o hasta el punto de descarga secundario	Las tuberías ocupan poco espacio y se pueden tender fácilmente. Entregan concreto con un flujo continuo. Las bombas pueden mover al concreto ya sea de manera vertical u horizontal. Se pueden rentar las bombas móviles cuando sean necesarias para proyectos grandes o pequeños. Las bombas pluma estacionaria suministran concreto de manera continua para la construcción de edificios de gran altura.	Se requiere un suministro constante de concreto fresco con una consistencia promedio y sin ninguna tendencia a segregarse. Se debe tener cuidado al operar la línea de bombeo para asegurar un flujo uniforme y limpiarla una vez que haya terminado la operación de colado. El bombeo vertical, con curvaturas y a través de mangueras flexibles reducirá considerablemente la distancia máxima de bombeo.
Camiones agitadores	Empleados para transportar concreto para todo uso en pavimentos, estructuras y edificios. Las distancias de acarreo deben permitir la descarga del concreto dentro de la primera hora y media.	No se necesitan plantas de mezclado central, solamente una planta dosificadora, por que el concreto se mezcla completamente en el camión mezclador.	El tiempo de entrega deberá adecuarse a la organización del trabajo. El personal y el equipo para el colado deberán estar listos en el sitio para manejar el concreto.
Camiones no agitadores	Empleados para transportar concreto en trayectos cortos y en camiones en buen estado.	El costo del equipo no agitador es inferior al de los camiones agitadores o mezcladores.	Se deberá limitar el revenimiento del concreto. Posibilidad de segregación. Se necesita una altura libre para levantar la caja del camión para la descarga.
Mezcladores de dosificación móviles	Empleadas para la producción intermitente de concreto en obra.	Un sistema combinado de transporte, dosificación y mezclado móvil para efectuar el proporcionamiento del concreto especificado de manera precisa y rápida. Su operación se lleva a cabo con un hombre.	Para tener una operación libre de problemas se necesita un buen programa de mantenimiento preventivo en el equipo. Los materiales deberán ser idénticos a los empleados en el diseño original de la mezcla.
Grúas	La herramienta adecuada para trabajar sobre el nivel del terreno.	Puede manejar concreto, acero de refuerzo, cimbrias, y muchos artículos diversos en edificios elevados.	Solamente cuenta con un gancho. Se necesita una programación cuidadosa de las operaciones para mantenerla ocupada.
Bandas transportadoras	Para transportar horizontalmente concreto o a nivel mayor o menor. Normalmente se emplean entre un punto de descarga principal y un punto de descarga secundario.	Las bandas transportadoras tienen alcance ajustado, desviado, viajero, y velocidad variable ya sea hacia delante o en reversa. Pueden colocar grandes volúmenes de concreto de manera rápida cuando el acceso está limitado.	Se requieren arreglos en el extremo de descarga para evitar segregación, y no dejar mortero sobre la banda de regreso. En climas adversos (cálido o expuesto al viento) los tendidos de bandas largas necesitan ser cubiertos.
Bandas transportadoras montada sobre camiones mezcladores	Para transportar concreto a un nivel inferior, al mismo nivel o a un nivel más elevado.	El equipo de transporte llega junto con el concreto. Se cuenta con alcance ajustable y con velocidad variable.	Se requieren arreglos en el extremo de la descarga a fin de evitar segregación, y no dejar mortero en el retorno.
Cucharones	Empleados junto con grúas, cablevías, y helicópteros para la construcción de edificios y presas. Transportan concreto directamente desde el punto central de descarga hasta la cimbra o a un punto de descarga secundario.	Permiten explotar totalmente la versatilidad de grúas, cablevías y helicópteros. Tienen una descarga limpia. Amplio rango de capacidades.	Seleccionar la capacidad del cucharón para que concuerde con el tamaño de la mezcla de concreto y con la capacidad del equipo de colocación. La descarga deberá ser controlable.
Canalones	Para transportar concreto a niveles inferiores, normalmente a niveles bajo el terreno, en todos los tipos de construcción de concreto.	Bajo costo y facilidad de maniobra. No se necesita fuerza motriz, pues la gravedad efectúa la mayor parte del trabajo.	Las pendientes deben variar entre 1 a 2 y 1 a 3 los canalones deberán estar soportados adecuadamente en todas las posiciones.
Canalones de desnivel	Utilizados para colar concreto en cimbrias verticales de todo tipo. Algunos canalones son de una pieza, otros se arman con segmentos sueltos conectados entre sí.	Los canalones de desnivel dirigen al concreto dentro de la cimbra y lo conducen hasta el fondo sin segregarse. Su uso evita el derrame de lechada y de cemento en los lados de las cimbrias, lo cual resulta ser dañino cuando se especifican superficies aparentes. También evitan la segregación de las partículas gruesas.	Los canalones de desnivel deben contar con aberturas abocinadas suficientemente grandes en las que el concreto se pueda descargar sin ser derramado. La sección transversal del canalón de desnivel deberá ser escogida cuidadosamente para que se pueda insertar dentro de la cimbra sin que interfiera con el acero de refuerzo.
Carretillos manuales y motorizados	Para acarreos planos y cortos en todo tipo de construcciones de concreto, en especial donde el acceso al área de trabajo esté restringido.	Muy versátiles e ideales por lo tanto en interiores y en sitios donde las condiciones de colado se encuentren cambiando constantemente.	Lentos y de trabajo intenso.
Extendedores de tornillos	Usados para extender concreto en áreas planas, como en pavimentos.	Con un extensor de tornillos se puede tener rápidamente una mezcla de concreto descargada de un cucharón o un camión sobre un área grande con un espesor uniforme. El concreto tendido tiene una buena uniformidad de compactación antes de que se use vibración para la compactación final.	Los extendedores de tornillos se utilizan comúnmente como parte de un tren de pavimentación. Se les deberá emplear para extender concreto antes de aplicar vibrado.
Tubo embudo (tubo tremé)	Para colocar concreto bajo el agua.	Se puede usar para verter concreto por medio de un embudo a través del agua dentro de la cimentación u otra parte de la estructura por colar.	Se necesitan precauciones para asegurarse que el extremo de descarga del tubo siempre se encuentre enterrado en concreto fresco, de modo que se tenga un sello entre el agua y la masa de concreto. A menos que se cuente con presión, el diámetro deberá ser de 25 a 30 cm, y un revenimiento mayor, de 15 a 22 S, pues el concreto deberá fluir y consolidarse sin ninguna vibración.



Fig. 7-1. Carretilla motorizada puede mover el concreto a lo largo de distancias cortas.



Fig. 7-2 Cucharón ó comúnmente llamada Bacha, el concreto puede elevarse con la ayuda de una grúa.



Fig. 7-3 Camión mezclador de descarga trasera, por medio de un canalón, construcción estacionamiento Bellas Artes.

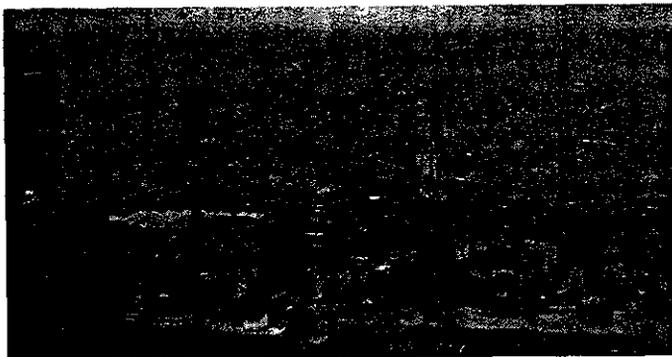


Fig. 7-4 Torre-Grúa. Empleada para mover todo tipo de materiales entre ellos concreto. World Trade Center. Ciudad de México. Grúa Oriente



Fig. 7-5 Banda transportadora para colocar concreto en muro.



Fig. 7-6. Concreto lanzado, su uso es aplicado generalmente para estabilizar paredes o taludes.

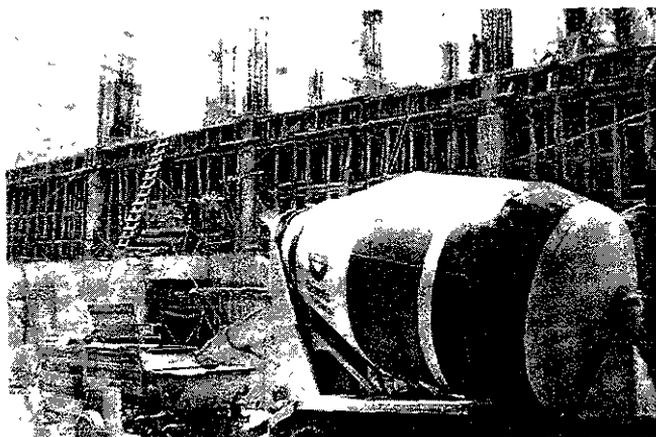


Fig. 7-7 Bomba estacionaria (hidráulica) da una gran facilidad en la colocación del concreto. Se han bombeado sobre 427 m verticalmente y más de 1,400 m horizontalmente. De acuerdo con el equipo que se use, la capacidad de concreto varía de 8 a 120 m³ por hora.

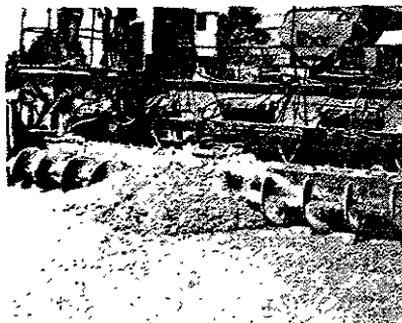


Fig. 7-9 Los extendedores de tornillo se emplean principalmente en la construcción de pavimentos.

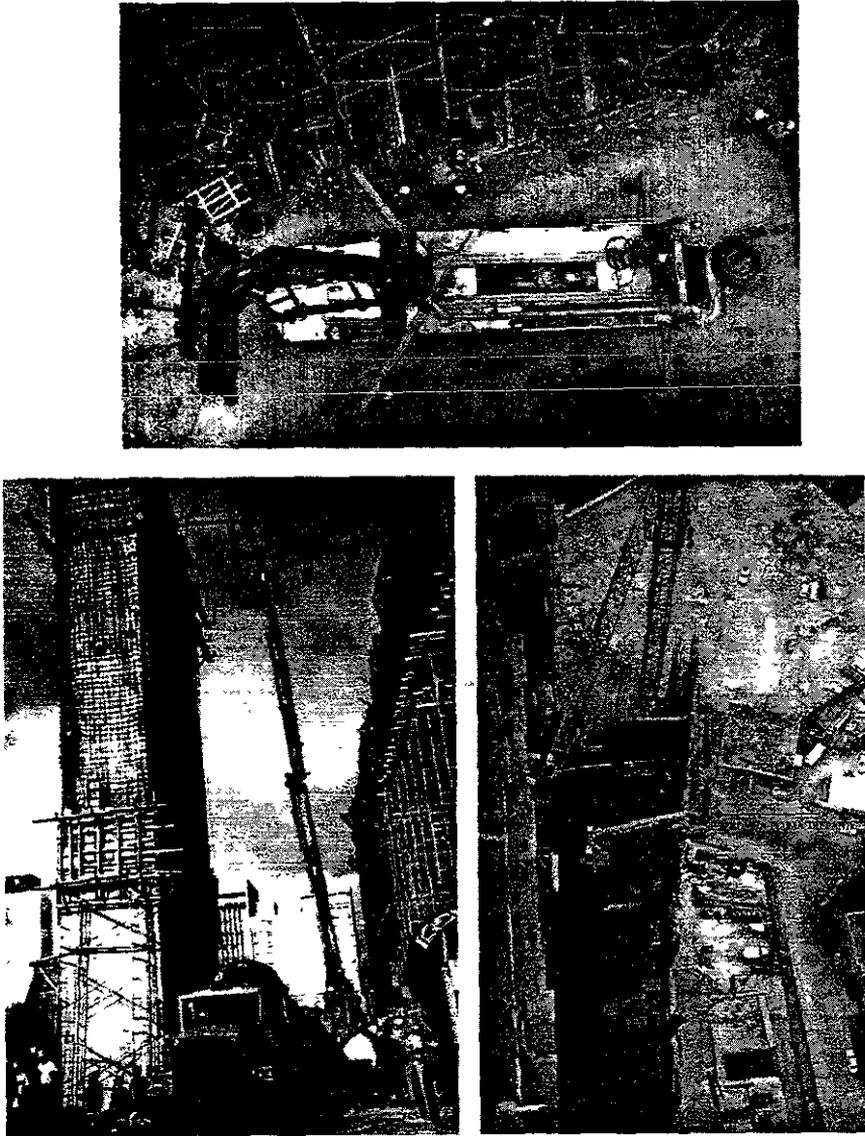


Fig. 7-8 La bomba-pluma facilita de manera significativa la colocación de concreto, en la figura superior se muestra una bomba pluma montada sobre un camión, con sus barras estabilizadoras, preparándose para iniciar un colado. En la figura inferior izquierda se muestra totalmente desplegada con un alcance de 42 m (las bombas generalmente tienen los siguientes alcances: 22m – se ven usualmente montadas en camiones mezcladores-, 28 m, 32 m, 42 m, 45 m, y hasta 52 m), colocando concreto para los cubos del elevador de la plaza principal del edificio World Trade Center, Ciudad de México. En la figura inferior derecha se muestra una bomba que fue desmontada de su unidad, para utilizarla en la colocación de concreto de las losas del mismo edificio. se llamo “trepante” por que escalaba cada piso. según se concluyera.

móvil con pluma colocadora hidráulica, mejor conocida como bomba-pluma, ha sido probablemente la innovación sencilla más importante en lo que se refiere al equipo para el manejo de concreto (Figura 7-8). Es económica tanto en colados grandes como en colados pequeños, según sean las condiciones de obra. Los extendedores de tornillos han resultado muy efectivos para colar y distribuir concreto para los pavimentos. Los extendedores de tornillos pueden colocar un espesor uniforme de concreto de manera rápida y eficiente (Figura 7-9).

Para la elección del mejor método es esencial analizar que tipo de trabajo: su tamaño físico, la cantidad de concreto por colar, y el programa a cumplir. Un estudio sobre los detalles de la obra determina además la cantidad de trabajo que queda debajo del nivel de terreno, por encima de éste o en el nivel del terreno. Esto ayudará significativamente a escoger el equipo de manejo de concreto necesario para colar el concreto en los niveles que se requieran.

COLOCACION Y ACABADO DEL CONCRETO

La organización anticipada al colado del concreto incluye diversas actividades, como la compactación, la formación de guarniciones, el humedecimiento de la subrasante; el montaje de cimbras; y la fijación segura en el concreto del acero de refuerzo y los demás accesorios que vayan a quedar insertos. El humedecimiento de la subrasante es muy importante, especialmente en climas cálidos y secos para que la subrasante no absorba demasiada agua del concreto y también para incrementar el nivel de humedad del aire logrando con eso disminuir la evaporación de la superficie del concreto.

En los climas fríos la subrasante no debe estar congelada. La nieve, el hielo, y otros desechos se deberán retirar del interior de las cimbras antes de realizar el colado del concreto. Cuando se vaya a depositar concreto sobre roca o sobre concreto endurecido, se deberá retirar todo el material suelto, y las caras de corte deberán ser casi verticales u horizontales en vez de inclinadas.

El concreto recién colado usualmente se pica poco después de haber endurecido para producir una mejor liga con el siguiente colado. Mientras no exista lechada, polvo o partículas sueltas, el concreto nuevo ya endurecido necesita poca preparación antes de colar concreto fresco sobre él. El concreto viejo normalmente requiere de limpieza mecánica y de picado antes de colar encima algún concreto nuevo.

Las cimbras deberán quedar fijas de manera exacta, limpias, firmes, adecuadamente apuntaladas, y/o construidas forradas con materiales que brinden el acabado deseado al concreto endurecido cuando vayan a ser retiradas. Las cimbras de madera, a menos que vayan a ser aceitadas o tratadas

con algún agente que permita su remoción, deberán humedecerse antes del colado del concreto, ya que de otra manera absorberían agua del concreto y se hincharían. Las cimbras deberán estar hechas para que al ser removidas, causen un daño mínimo al concreto. Se deberá evitar el uso de demasiados clavos, o de clavos muy largos para facilitar la remoción y reducir los daños. En los concretos arquitectónicos, el agente que se utilice para remover la cimbra deberá ser un material que no produzca manchas.

El acero de refuerzo deberá estar limpio y libre de herrumbre o de costras de laminado al colar el concreto. Asimismo, el mortero que salpica al acero de refuerzo de los colados previos no necesita ser removido del acero ni de otros artículos insertos si la siguiente entrega se va a completar en unas cuantas horas; sin embargo el mortero seco y suelto deberá ser removido de los elementos que vayan a quedar insertos en las en las entregas de concreto posteriores.

Todo el equipo que se utilice para colar concreto deberá estar limpio y en buenas condiciones para trabajar, también se deberá contar con equipo de reserva para utilizarlo en caso de que ocurra una falla.

Algunas recomendaciones importantes que deben de tomarse en cuenta durante la colocación del concreto:

- No distribuir el concreto empujando o jalando las secciones inferiores de los canalones seccionales a un ángulo considerable de la vertical, ya que ocurrirá una segregación muy seria. En vez eso, mantener la sección inferior en una posición vertical.
 - Los canalones evitarán la segregación y el salpicamiento de mortero sobre el refuerzo y las cimbras; tal vez los canalones no sean necesarios si el colado se completa antes de que el mortero se seque.
 - Cuando se vacíe el concreto cerca de la parte superior, puede evitarse la segregación y la formación de capas en las cimbras, se puede ahorrar tiempo y mano de obra, y se puede colocar y distribuir mejor el concreto, vaciando directamente los botes y otros equipos de entrega sin usar tolvas o canaletas.
 - Hay que depositar el concreto cerca de su ubicación final y no permitir que fluya lateralmente, a menos que el concreto como un todo se esté moviendo sin segregación
 - En construcción de las losas, el colado deberá comenzar a lo largo del perímetro en un extremo del trabajo descargando cada mezcla contra el concreto previamente colado. No se deberá voltear el concreto en pilas separadas para luego nivelarlo y trabajarlo simultáneamente; tampoco deberá colocarse en pilas corridas para moverlo horizontalmente a su
-

posición final. Tales practicas constructivas producen segregación por que el mortero tiende a fluir antes que el material más grueso.

- El concreto deberá colarse en capas horizontales de espesor uniforme, consolidando adecuadamente cada capa antes de colar la siguiente. La velocidad de colocación deberá ser lo suficientemente rápida para que la capa de concreto no haya fraguado cuando se le coloque encima la capa nueva.
 - Las capas deberán ser de 15 a 50 cm. de espesor para los elementos reforzados, y de 38 a 50 cm. de espesor para trabajos masivos; el espesor dependerá del ancho entre las cimbras y también de la cantidad de refuerzo.
 - Mantener la parte superior de una capa casi a nivel.
 - El concreto no deberá moverse horizontalmente a través de una distancia demasiado larga mientras se esté colando en cimbras o en losas. En ciertos trabajos, como en los colados de concretos en muros guardatierra inclinados o debajo de las aberturas en los muros, será necesario mover el concreto horizontalmente dentro de las cimbras, aunque está distancia horizontal se deberá mantener dentro de un valor mínimo.
 - En muros, cadenas, y trabes, las primeras cargas de cada entrega se deberán colar en los extremos, con los colados subsecuentes hacia el centro; en todos los casos se deberá impedir que el agua se almacene en los extremos, en las esquinas, y a lo largo de las caras de las cimbras.
 - La altura de caída libre del concreto no se necesita ser fijada hasta un cierto límite a no ser que ocurra una separación de partículas gruesas, produciendo apanalamientos, en cuyo caso probablemente será adecuado marcar un límite de 0.90 a 1.20 m, se ha permitido la caída libre de concretos diseñados adecuadamente hasta de varias decenas de metros dentro de cajones.
 - A veces se cuela concreto a través de aberturas, denominadas ventanas, a los lados de las cimbras altas y estrechas. Cuando un canalón descarga directamente a través de la abertura, existe el peligro de que se presente segregación. Se deberá usar un embudo recolector afuera de la abertura para permitir el flujo más suave del concreto a través de la abertura, disminuyendo la tendencia a segregarse.
 - Cuando el concreto se va acolar en cimbras altas a una velocidad relativamente rápida, se puede llegar a recolectar cierta agua de sangrado en la superficie superior, especialmente si el concreto no contiene aire incluido. El sangrado se puede reducir haciendo un colado más lento y empleando un concreto con una cierta consistencia más seca. Cuando sea práctico, el concreto se deberá colar en un nivel de aproximadamente 30
-

cm. debajo de la parte superior de las cimbras altas, y se deberá dejar pasar aproximadamente una hora para que el concreto fragüe parcialmente. El colado deberá recomenzar antes de que la superficie endurezca para evitar la formación de una junta fría.

- Es buen hábito sobrellenar la cimbra unos 2 ó 3 cm y retirar el exceso de concreto luego que el concreto ha endurecido y que el sangrado ha cesado.
- Para evitar agrietamientos se deberá permitir que el concreto en columnas y muros permanezca dos horas como mínimo, y de preferencia toda la noche, antes de continuar el colado de cualquier losa, cerramiento, o trabe que los enmarque.
- Las ménsulas y los capiteles de las columnas se consideran parte del piso, o de la losa de techo y deberán colarse íntegramente con las losas.
- Sacar y esparcir el agregado grueso en otras áreas en vez de cubrirlo con concreto, ya que tal recubrimiento puede dar como resultado cavidades o bolsas de aire.
- Una dosificación de concreto inusualmente tiesa puede salvarse esparciéndola en una capa delgada y trabajándola dentro de otro concreto.
- No se deberá usar rastrillos con dientes para extender el concreto de cualquier tipo, el uso recomendado son jaladores o herramientas similares de cara sólida o palas comunes.
- No hay que caminar sobre el concreto fresco o el refuerzo, ni permitir otras actividades que afecten la uniformidad, el acabado o la adherencia.
- En los trabajos de losas anchas, se debe procurar plataformas sobre las que se puede caminar y que cubran todo el ancho de la losa para evitar cualquier tipo de perturbación en el concreto recién colocado.
- Mantener siempre las botas lodosas fuera del concreto fresco.
- Hay que incluir provisiones (sujetadores, cuñas, etc.) para hacer los ajuste necesarios de los ademes. Los trabajadores con frecuencia descuidan ajustes posteriores después de la aprobación preliminar (antes del comienzo de la colocación del concreto), a menos que se les exija que verifiquen continuamente las cimbras y el apuntalamiento durante la colocación.
- Es indispensable tomar mediciones antes, durante y después del colado del concreto. Los asentamientos lentos con frecuencia pasan inadvertidos y la excesiva deflexión o asentamientos de los ademes durante y después de la colocación es un signo de perturbación. Los ademes en el suelo particularmente son susceptibles de un asentamiento con frecuencia que causan deflexiones excesivas en las losas frescas, y agrietamientos.

Las Figuras 7-10 y 7-11 muestran algunos métodos correctos e incorrectos de colocación del concreto.

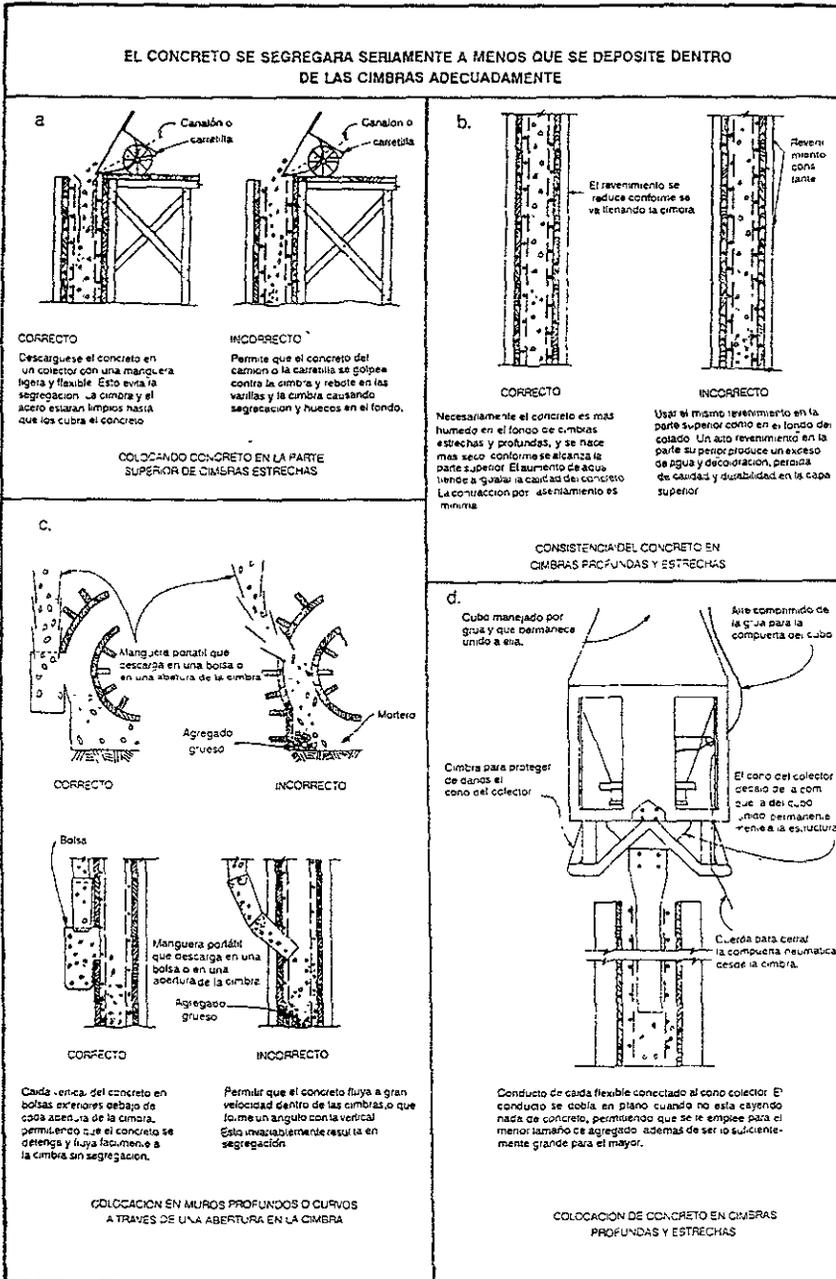


Fig 7-10 Métodos correctos e incorrectos de colocación del concreto, tomado de ACI 304R.

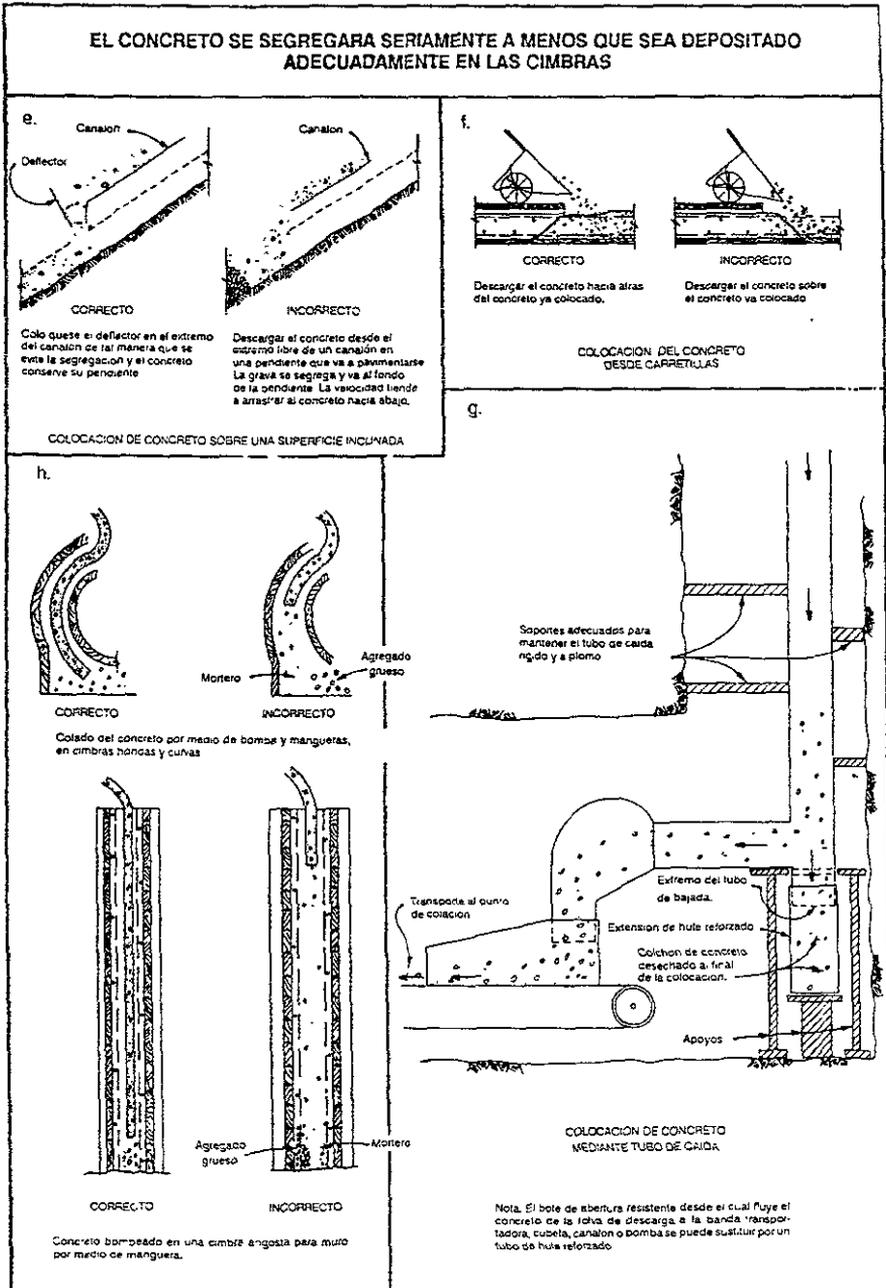


Fig. 7-11 Métodos correctos e incorrectos de colocación del concreto, tomado de ACI 304R.

CONSOLIDACIÓN DEL CONCRETO

La consolidación es el procedimiento que consiste en compactar al concreto fresco para amoldarlo dentro de las cimbras y alrededor de los artículos insertos y del refuerzo a fin de eliminar los depósitos de piedra, los apalamientos y las cavidades de aire atrapado. En los concretos con aire incluido, la consolidación no deberá retirar cantidades importantes de aire intencionalmente incluido; pues la consolidación se obtiene por medio de métodos manuales o mecánicos. El método que se elija dependerá de la consistencia de la mezcla y las condiciones de colado, como los son la complejidad de la cimbra y la cantidad y el espaciamiento del refuerzo.

Las mezclas fluidas y trabajables se pueden consolidar por varillado manual, es decir, introduciendo repetidamente una varilla pisonadora u otra herramienta adecuada dentro del concreto. La varilla deberá ser lo suficientemente larga para llegar hasta el fondo de la cimbra y lo suficientemente delgada para pasar entre el acero de refuerzo y la cimbra. Este es un método de consolidación muy efectivo, pero laborioso y costoso.

Para mejorar la apariencia de las superficies cimbradas, se puede usar la consolidación con azadón. Una herramienta plana, similar a un azadón se inserta repetidamente y se retira dejándolo junto a la cimbra. Esto aleja de las cimbras de los agregados gruesos de mayor tamaño y ayuda a que el aire atrapado se desplace hacia la superficie superior para que pueda escapar. Una mezcla que se pueda consolidar adecuadamente con herramientas manuales no deberá consolidarse por métodos mecánicos por que existirá la tendencia a segregarse bajo una acción mecánica intensa.

Una consolidación mecánica apropiada posibilita la colocación de mezclas rígidas con relaciones agua-cemento bajas y contenidos elevados de agregado grueso, características que normalmente se asocian con concretos de alta calidad, incluso en los elementos altamente reforzados. Algunos métodos mecánicos son la centrifugación, usada para consolidar concretos de revenimiento moderado a alto que se emplean para fabricar tubos, postes, pilotes y otras secciones huecas de concreto.

Las mesas de golpeo o de caída, empleadas para compactar concretos muy rígidos de bajo revenimiento. El concreto se deposita en capas delgadas (colados delgados) dentro de moldes resistentes. Conforme se van llenando los moldes, se levanta a poca altura y se deja caer sobre una base sólida. Al detenerse bruscamente la caída libre del molde con concreto, el impacto provoca que éste se compacte para formar una masa densa. La frecuencia varía en el rango de 150 a 250 caídas por minuto, siendo la caída libre de 3 y 13 mm utilizados en la manufactura de unidades precoladas arquitectónicas; y por último la vibración interna ó externa.

VIBRACION

La vibración, ya sea interna o externa, es el método comúnmente más usado para consolidar concreto. Al vibrar al concreto, la fricción interna entre las partículas de agregado se destruyen temporalmente y el concreto se comporta como un líquido; el mortero se licúa de momento la fricción interna que permitía al concreto mantenerse en su condición original tal como se deposita se reduce en forma drástica. La mezcla se vuelve inestable y busca un nivel inferior y una condición más densa. Fluye hacia los lados, contra la cimbra y alrededor del acero de refuerzo, la agitación de la mezcla por medio de vibradores ocasiona que las burbujas de aire atrapado suban a la superficie. Las burbujas de mayor tamaño se pueden quitar más fácilmente que las pequeñas debido a su mayor capacidad de flotación. También aquellas burbujas que se encuentren cerca del vibrador suben antes que aquellas más alejadas dentro del radio de acción. La fricción interna se restablece en el momento en que la vibración se detiene.

Los vibradores, ya se traten de vibradores externos o internos, se caracterizan normalmente por la frecuencia de vibración, expresada por el número de vibraciones por minuto, vpm, y por la amplitud de la vibración, que es la desviación en centímetros desde el punto de apoyo.

Siempre que se consolide el concreto por vibración, se deberá contar con un vibrador de repuesto para usarlo en caso de que se presente alguna falla mecánica.

Vibración interna

Los vibradores internos, llamados con frecuencia vibradores de corto alcance o vibradores húngaros, tienen una cabeza vibradora, que se sumerge en el concreto y actúa en forma directa sobre él. En la mayoría de los casos los vibradores internos dependen del efecto enfriador del concreto que los circunda para evitar el sobre calentamiento.

Todos los vibradores internos que se utilizan en la actualidad son de tipo rotatorio. Los impulsos vibratorios emanan de la cabeza del vibrador en ángulo recto.

Tipo de flecha flexible.- este tipo de vibradores es, probablemente, el más ampliamente usado. El excéntrico generalmente está controlado por medio de un motor eléctrico o neumático o por medio de un motor portátil de combustión interna (Figura 7-12).

Vibrador de motor eléctrico en la cabeza.- como este motor está situado en la cabeza del vibrador, no existe motor o flecha separados. De la cabeza sale un cable eléctrico resistente que actúa también como mango. Puesto que es

difícil reducir el tamaño de las partes más de cierto límite, los vibradores con motor en la cabeza son por lo general de un diámetro de 50 mm como mínimo (Figura 7-13).



Fig. 7-12 Vibradores de flecha flexible: de operación eléctrica (izquierda), con motor de gasolina (centro), corte longitudinal de la cabeza (derecha).

Vibradores neumáticos.- estos vibradores trabajan por medio de aire comprimido, el motor neumático generalmente se encuentra en la parte interna de la cabeza del vibrador (Figura 7-14). El empleo de vibradores neumáticos es muy ventajoso cuando el aire comprimido es la fuente de energía de más fácil acceso. La frecuencia depende en gran medida de la presión del aire, por lo que ésta siempre debe mantenerse a un nivel apropiado. En algunos casos es conveniente variar la presión del aire para obtener una frecuencia diferente.

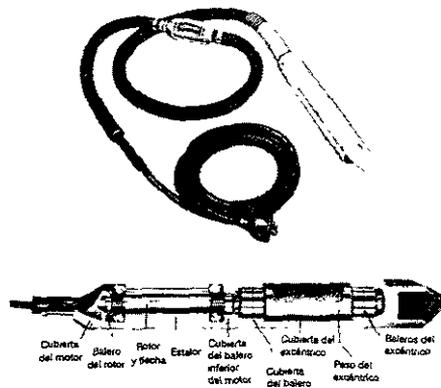


Fig. 7-13 Vibrador eléctrico con motor en la cabeza: aspecto exterior (izquierda), construcción interna de cabeza (derecha).

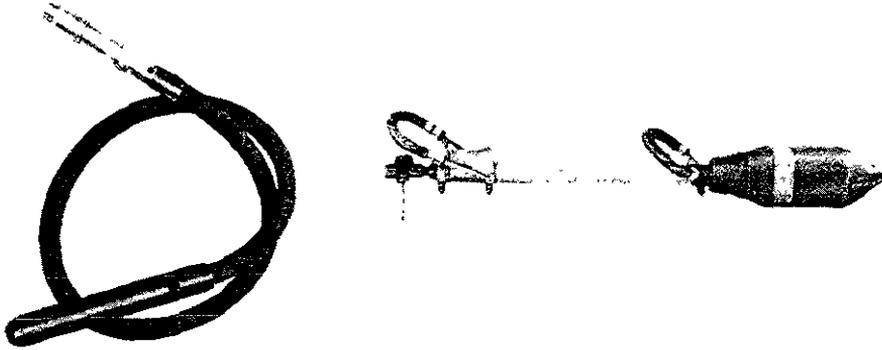


Fig. 7-14 Vibradores de aire para construcción común (izquierda) y para concreto masivo (derecha).

Vibradores hidráulicos.- los vibradores que utilizan un motor hidráulico son muy populares en las maquinas de pavimentación. El vibrador esta conectado al sistema hidráulico de la pavimentadora por medio de mangueras de alta presión. La frecuencia de vibración puede regularse variando el flujo del fluido hidráulico a través del vibrador. La eficiencia del vibrador depende de la presión y del flujo del fluido hidráulico.

Para la correcta selección de un vibrador interno su requisito principal es su efectividad para compactar el concreto; debe tener un radio de acción adecuado y ser capaz de "licuar" y desaerear con rapidez el concreto. En lo posible, el vibrador debe ser también de operación confiable, de peso ligero, fácil de manejar y manipular y resistente al uso. Algunos de estos requisitos son opuestos entre sí, por lo que es necesario hacer concesiones.

Vibración externa

Los vibradores para cimbra son vibradores externos fijados al lado exterior de la cimbra o molde. Hacen vibrar la cimbra, la que a su vez transmite las vibraciones al concreto. Los vibradores para cimbra son autoenfriantes. Pueden ser de tipo rotatorio o de acción vertical.

Vibradores rotatorios.- los vibradores para cimbra de tipo rotatorio producen esencialmente un movimiento armónico simple como los vibradores internos. Los impulsos tienen componentes tanto perpendiculares a la cimbra como en el mismo plano de ésta. Este tipo de vibrador puede ser de operación neumática o eléctrica (Figura 7-15).

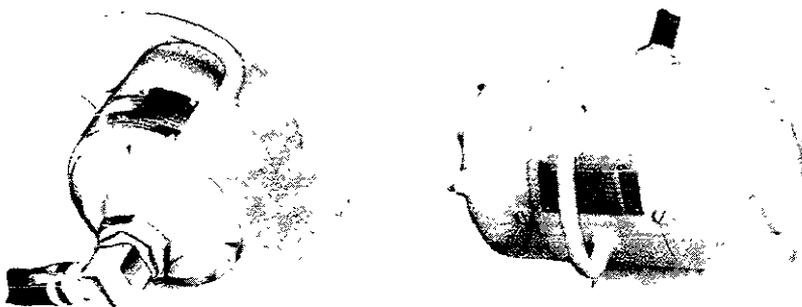


Fig. 7-15 Vibradores rotatorios para cimbra: de aire (izquierda), eléctrico(derecha).

Vibradores de acción vertical.- en este tipo de vibrador se acelera un pistón en una dirección, se detiene (por impacto contra una placa de acero) y, después se acelera en dirección opuesta (Figura 7-16). Estos vibradores se operan por medios neumáticos, y producen impulsos que actúan en sentido perpendicular a la cimbra. Los principios de movimiento armónico simple no se aplican en este caso.

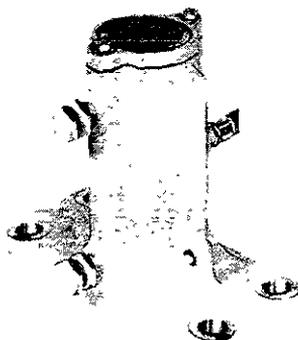


Fig. 7-16 Vibrador de acción vertical para cimbra.

Otros tipos de vibradores.- entre los vibradores para cimbra menos empleados se encuentran los siguientes:

- a) El electromagnético, que suele desarrollar una forma de onda combinada de sinusoidal-diente de sierra.
- b) Martillos manuales neumáticos o eléctricos, que algunas veces se emplean para compactar unidades pequeñas de concreto.

Vibradores superficiales

Los vibradores superficiales se aplican a la superficie superior y consolidan el concreto de arriba hacia abajo manteniendo el concreto enfrente de ellos. Su efecto nivelador ayuda a las operaciones de acabado. Se usa principalmente en la construcción de las losas.

Hay tres tipos principales de vibradores superficiales:

- a) Vibrador de llana.- este consiste en una viga sencilla que atraviesa el ancho de la losa (Figura 7-17), este es más adecuado para superficies horizontales o casi horizontales. Generalmente se operan en forma manual en trabajos pequeños y en forma mecánica en trabajos grandes (Figura 7-18).
- b) Apisonadores vibradores de placa o de rejilla.- consiste en una pequeña placa o rejilla vibradora (por lo general de 0.2 m² de superficie) que se mueve sobre la superficie de losa. Estos vibradores trabajan mejor sobre concretos de consistencia rígida.
- c) Vibradora de rodillos.- esta unidad empareja y compacta al mismo tiempo. Uno de los modelos consta de tres rodillos: el rodillo frontal actúa como excéntrico y es el rodillo vibrador (regulado de acuerdo con la consistencia de la mezcla) que gira en dirección opuesta a la dirección opuesta a la dirección del movimiento. Abate, empareja y proporciona vibración ligera. Este equipo es adecuado para mezclas fluidas.

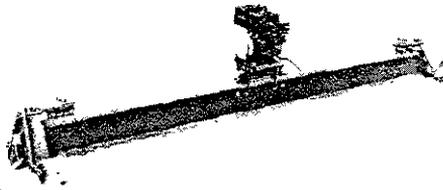


Fig. 7-17 Llana vibradora para trabajos pequeños. Tipo de viga sencilla



Fig. 7-18 Vibrador de llana en forma mecánica, extendedora y de acabado, se usa en pavimentación de gran volumen.

También existen vibradores manuales de madera o de metal y pequeños dispositivos vibradores de operación eléctrica o de aire, que se fijan a las herramientas estándar de acabado para facilitar esta operación.

VIBRADO DEL ACERO DE REFUERZO

Cuando un vibrador no puede llegar hasta el concreto, como ocurre en áreas congestionadas por el acero de refuerzo, resulta muy útil vibrar las porciones expuestas de las varillas de refuerzo. Algunos ingenieros han opinado sobre el posible detrimento de la adherencia del concreto y el acero causado por la vibración transmitida a través del refuerzo al concreto de capas inferiores que han fraguado parcialmente; sin embargo un análisis cuidadoso del concreto endurecido y compactado de esta manera demostró que dichos temores no tienen fundamento. Siempre que el concreto se pueda mover todavía, esta vibración puede incluso mejorar la adherencia entre el concreto y el acero mediante la eliminación del aire atrapado y el agua situados debajo de las varillas de refuerzo.

Para este fin debe emplearse un vibrador para cimbra fijado a la varilla mediante un dispositivo apropiado. Adaptar un vibrador de inmersión a una varilla de refuerzo puede dañar el vibrador.

REVIBRADO

El revibrado es el proceso mediante el cual se vuelve a vibrar concreto que ya ha sido vibrado. En realidad, la mayor parte del concreto se revibra involuntariamente cuando, al colar capas sucesivas, el vibrador penetra hasta la capa subyacente (que ya ha sido vibrada). Sin embargo, el término revibrado, tal como se emplea en estos comentarios, se refiere al revibrado intencional y sistemático, efectuado poco después de concluir el colado.

El revibrado puede llevarse a cabo en cualquier momento en que el vibrador se hunda por su propio peso en el concreto y lo licúe momentáneamente. Ofrece mejores resultados cuando se efectúa lo más tarde posible. Generalmente se ha considerado que ésta revibración resulta más efectiva cuando se hace justo antes del fraguado del concreto para mezclas con revenimiento de 7.5 cm.

La revibración generalmente mejora la resistencia a la compresión de los cilindros estándar. El efecto de la revibración es la resistencia de la adherencia concreto-acero no es tan claro. La revibración parece mejorar la resistencia de la adherencia en las varillas superiores colocadas en concreto con alto revenimiento. Sin embargo, la revibración puede dañar severamente la resistencia de adherencia de varillas coladas en concreto de bajo revenimiento

que esté bien consolidado. La revibración casi siempre resulta perjudicial para la resistencia de adherencia de las varillas de fondo. Ante que nada, la revibración tiende a reducir las diferencias en la resistencia de adherencia ocasionadas por las diferencias de revenimiento y posición de las varillas.

La revibración es más benéfica en los primeros centímetros de la parte superior, 0.5 a 1 m, de cualquier colado, en donde las bolsas de aire y agua prevalecen. La revibración de las partes superiores de los muros normalmente resulta en una apariencia más uniforme de las superficies verticales.

La revibración puede ser más efectiva para minimizar las grietas en la parte superior de vanos de puertas, arcos, etc. El procedimiento consiste en demorar de 1 a 2 horas la colocación del concreto adicional, dependiendo de la temperatura, después de alcanzar la línea de arranque y la cabecera de la puerta o en uniones entre columna y piso, etc. A fin de permitir la contracción por asentamiento que ocurre antes de la revibración de los materiales en su lugar y proseguir con la colocación.

CURADO

El curado consiste en el mantenimiento de contenido de humedad y temperaturas satisfactorios en el concreto durante un periodo definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.

El curado tiene una gran influencia sobre las propiedades del concreto endurecido como son la durabilidad, resistencia, hermeticidad, resistencia a la abrasión, estabilidad volumétrica, y resistencia a la congelación y deshielo y a las sales para descongelar. Las superficies sujetas a la exposición son especialmente sensibles al curado, pues el desarrollo de la resistencia en la superficie puede llegar a reducirse de manera importante cuando el curado es defectuoso.

Al mezclar cemento portland con agua, se lleva a cabo la reacción química denominada hidratación. El grado hasta que el cual esta reacción se llegue a completar, influye en la resistencia, la durabilidad y en la densidad del concreto. La mayoría de los concretos frescos contienen una cantidad de agua considerablemente mayor a la requerida para que tenga lugar la hidratación completa del cemento; sin embargo, cualquier pérdida de agua apreciable por evaporación o por otra manera retrasará o evitará la completa hidratación. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida los primeros días después de haber colado el concreto; es importante que el agua sea retenida durante este período, es decir, que se impida o que al menos se reduzca la evaporación. Los objetivos del curado son por consiguiente:

1. Prevenir (o reaprovisionar) la pérdida de humedad del concreto.
2. Mantener una temperatura favorable en el concreto durante un período definido.

Con un curado adecuado, el concreto se volverá más fuerte impermeable, y resistente a los esfuerzos, a la abrasión, congelación y deshielo. La mejora es inmediata en las edades tempranas, aunque continúa dándose más lentamente durante un periodo indefinido.

Cuando se interrumpe el curado húmedo, el desarrollo de resistencia continúa presentándose durante un periodo corto y se detiene luego que la humedad relativa interna del concreto cae a aproximadamente 80%. Sin embargo, si el curado húmedo se reanuda, el desarrollo de resistencia será reactivado.

La pérdida de agua también va a provocar que el concreto se contraiga, creando así esfuerzos de tensión en el concreto. Si estos esfuerzos se presentan antes que el concreto haya adquirido la resistencia a la tensión adecuada, se podría tener como resultado agrietamientos superficiales. Todas las superficies expuestas, incluyendo los bordes y las juntas que queden expuestos, deberán protegerse contra la evaporación de la humedad.

Cuando la temperatura del concreto es baja, la hidratación avanza a una velocidad mucho menor. Las temperaturas inferiores a los 10°C son favorables para el desarrollo de la resistencia a edad temprana; debajo de los 4.5°C el desarrollo de la resistencia a edad temprana se retrasa en gran medida; y temperaturas de congelación o por debajo de ellas, hasta los -10°C, el desarrollo de resistencia es mínimo o nulo.

MÉTODOS Y MATERIALES DE CURADO

El concreto puede mantenerse húmedo (y en ciertos casos a temperatura favorable) con el uso de tres métodos de curado:

1. Métodos que mantengan la presencia de agua de mezclado en el concreto durante el periodo inicial de endurecimiento. Entre éstos se incluyen al estancamiento ó inmersión, al rociado de niebla ó aspersion y a las cubiertas húmedas saturadas (costales, mantas de algodón, alfombras, tierra, arena, aserrín, paja ó heno). Estos métodos proporcionan un cierto enfriamiento a través de la evaporación, lo cual es benéfico en climas cálidos.
 2. Métodos que evitan la pérdida del agua de mezclado del concreto sellando la superficie. Esto se puede lograr cubriendo al concreto con papel impermeable o con hojas de plástico, o aplicando compuesto de curado que formen membranas. Los compuestos líquidos para formar membrana se deben aplicar después del acabado y tan pronto como
-

desaparezca el agua libre sobre la superficie, de manera que no se aprecie el brillo del agua, pero antes de que el compuesto líquido del curado pueda ser absorbido por el concreto.

3. Métodos que aceleren la ganancia de resistencia suministrando calor y humedad adicional al concreto. Esto se logra normalmente con vapor directo, serpentines de calentamiento, o cimbras o almohadillas calentadas eléctricamente.

Los métodos naturales de curado: lluvia, neblina, humedad alta, baja temperatura, etc. Pueden estimarse suficientes para proporcionar un curado adecuado cuando su efecto es, por lo menos, el de conservar húmedo el concreto durante los primeros 14 días, 7 días si esta hecho con cemento Tipo I ó durante los primeros tres días si esta hecho con cemento Tipo III, siempre que se le haya conservado a una temperatura superior a los 10°C, a menos que se indique otra en las especificaciones de proyecto.

El método o la combinación de métodos elegida dependerá de factores tales como la disponibilidad de los materiales de curado, el volumen y la forma del concreto, la apariencia estética, y la economía.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un análisis de recopilaciones fundamentales, de años de estudio y de investigación de manera personal, y de institutos que han dedicado décadas al mejoramiento de técnicas y procedimientos que nos servirán para orientar, supervisar y controlar las etapas en las cuales se maneja el concreto.

No pretende ser una guía unipersonal, sino un manual en el cual se pueda consultar de manera básica; ya que es una realidad que el ingeniero debe construir con una calidad excelsa, por que México vive un tipo de cambios que internamente y externamente lo exigen.

A través de mi incipiente desarrollo profesional fue común ver en el ambiente de la construcción que el profesionista implicado carece de los conocimientos indispensables para manejar y controlar principios fundamentales de la calidad del concreto. En nuestro entorno generalmente se puede apreciar, aún sin estudiar las propiedades y características básicas, deficiencias palpables que presentan defectos ocultos menores o mayores en acabados o en la estructura de concreto, en banquetas, guarniciones, pavimentos y más grave aún en estructuras mucho más importantes como en edificios, puentes, carreteras, pistas, canales, presas y demás obras donde se involucra de manera directa el concreto, propiciados principalmente por el mezclado, dosificación, transporte, manejo y colocación, lo cual en estos casos es sinónimo que los ingenieros que construyen carecen lo básico sobre el mismo, por que hay que entender al concreto y su comportamiento.

Hablar de un resultado satisfactorio no solamente se debe al proyectista de la estructura en su conjunto, sino una gran parte o quizá la más importante al ingeniero que aplica sus conocimientos en la construcción de todo tipo de obra, apoyar dicho diseño de tal forma que las metas se cumplan en su totalidad, y que ni el paso del tiempo ni la acción del medio ambiente los invalide.

Durante el paso por la Facultad de Ingeniería se estudia el comportamiento del concreto en forma amplia, teórica y escueta, al enfretarnos con la realidad las ideas cambian por las variables tangibles o intangibles que la intensidad de la obra lo demanda, solo un nivel de estudio, de actualización profesional y tecnológica, y un nivel de conciencia plena, lograrán otro tipo de actitud que mejore el proceso constructivo, de tal manera que evite vicios ocultos y

visibles, para así garantizar de que cualquier programa de control de calidad logre sus objetivos.

Se pueden generar discrepancias en la utilización de normas (ASTM) y practicas recomendadas (ACI) estadounidenses en la elaboración de la presente. La justificación tal vez resulte ambigua, pero es un hecho que nuestras normas actuales (en su mayoría), se han paralizado, de cierta manera que resultan rezagadas.

Con la firma del tratado de libre comercio en 1994 entre los países de Canadá, Estados Unidos y México, se pide que se modifiquen y actualicen las normas mexicanas (NOM a NMX), y se equiparen en una necesidad comercial a las canadienses y estadounidenses con el propósito de una competencia leal, para ser reconocidos en un mercado mundial altamente competitivo con exigencias de productividad y calidad equitativas. Enfatizando que cada país deberá de contar con sus propias normas y homologar las más importantes, acuerdo que debería de entrar en vigor en enero de 1998.

En 1993 se crea el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), formado por comités consultivos descentralizados, para la normalización, verificación y certificación de productos y servicios para la construcción y edificación, acreditado y aprobado dicho organismo por la Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI).

En la elaboración y actualización de las normas, y de referencia, este organismo ha trabajado arduamente para compararlas y adaptarlas a nuestros recursos y necesidades, en el presente sean revisado, aprobado y reprobado 60 normas mexicanas -NMX- en tres años, de aproximadamente 150 normas importantes referentes a la industria del cemento y del concreto. Se necesita organización y administración eficiente de todos los sectores interesados que unifiquen esfuerzos para concluir dicha regulación. Solo así se podrá contar con un soporte técnico confiable que nos ayude de manera sustancial.

BIBLIOGRAFIA

1. Steven H. Kosmatka y Williams C. Panarese. **Diseño y Control de Mezclas de Concreto**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1992, 230 p.
 2. American Concrete Institute (ACI). **Manual para Supervisar Obras de Concreto ACI-311-92**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1994, 260p.
 3. Ing. Alvaro Ortiz Fernández. **Control de Calidad del Concreto**. México, D.F, Fundación para la Enseñanza de la Construcción (FUNDEC), 1986, 122p.
 4. Adam Neville. **Tecnología del Concreto**. México, D.F, Ed. Trillas, 1998, Tomos I y II.
 5. American Concrete Institute (ACI). **Guía practica para la Colocación del Concreto, Dosificación, Bombeo, Bandas transportadoras y Concreto Ligero ACI-304**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1993, 76p.
 6. American Concrete Institute (ACI). **Compactación del Concreto ACI-309**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1992, 72p.
 7. American Concrete Institute (ACI). **Elaboración, Colocación y Protección del Concreto en Clima Caluroso ACI-305R-91**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1995, 42p.
 8. American Concrete Institute (ACI). **Elaboración, Colocación y Protección del Concreto en Clima Frío ACI-306**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1995, 37p.
 9. American Concrete Institute (ACI). **Curado del Concreto ACI- 308-92**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1994, 20p.
-

10. American Concrete Institute (ACI). **Reglamento para las Construcciones de Concreto Estructural y Comentarios ACI 318-95 y ACI 318R-95**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1997, 349p.
 11. American Concrete Institute (ACI). **Especificaciones para el Concreto Estructural ACI 301-96**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1998, 64p.
 12. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Producción de Grandes Volúmenes de Concreto**. México, D.F, IMCYC, 1983, 142p.
 13. Centro Técnico del Concreto (CTC). **Guía del Consumidor de Concreto Premezclado**. México, D.F, Servicios Profesionales Tolteca, 1987.
 14. Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado y la Asociación Nacional de Laboratorios Independientes al Servicio de la Construcción (AMIC y ANALISEC). **Manual para el Muestreo de Concreto**. Edición 1989, 32p.
 15. F.R. Mc. Millan y Lewis H. Tuthill. **Cartilla del Concreto**. México, D.F, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1992, 43p.
 16. Ing. Alfonso Rico y Hermilio del Castillo. **Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres**. México, D.F, Ed, Limusa, 1982, Volumen I y II.
 17. Bertrand L. Hansen y Prabhakar M. Ghare. **Control de Calidad, Teoría y Aplicaciones**. México, D.F, Ed. Díaz de Santos, 1990, 1-5p.
 18. Juan José Larios Gutiérrez. **Hacia un Modelo de la Calidad**. México, D.F, Ed. Iberoamericana, 1991, 2-16p.
-