

95
Fey



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

FACULTAD DE INGENIERIA

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

T E S I S

**Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL**

p r e s e n t a

JORGE MARTINEZ OMAÑA



México, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTROL Y VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO

INDICE

- I.- INTRODUCCION.
- II.- CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCION.
 - 2.1 Certificación, verificación y mantenimiento del equipo.
 - 2.1.1. Básculas.
 - 2.1.2. Mezcladoras.
 - 2.1.3. Dosificador de aditivos.
 - 2.2. Control de materiales.
 - 2.2.1. Control de cemento.
 - 2.2.1.1. Pruebas físicas.
 - 2.2.1.2. Pruebas químicas.
 - 2.2.2. Control de agregados.
 - 2.2.2.1. Pruebas físicas.
 - 2.2.3. Manejo de los Materiales.
 - 2.2.3.1. Cemento.
 - 2.2.3.2. Agregados.
 - 2.2.3.3. Agua.
 - 2.2.3.4. Aditivos.
- III.- VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO.
 - 3.1. Verificación por medio de cilindros estándar de concreto.
 - 3.1.1. Análisis estadístico.
 - 3.1.2. Cartas de control.
 - 3.1.3. Evaluación de resultados y reporte.
 - 3.2. Empleo de métodos acelerados de curado.
 - 3.3. Verificación de la calidad del concreto en la estructura.
 - 3.3.1. Pruebas parcialmente destructivas.
 - 3.3.2. Pruebas no destructivas.
- IV.- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

I.- INTRODUCCION

Desde la aparición del hombre sobre la tierra, la necesidad de contar con un buen refugio ha demandado, según la época, la aplicación de la mejor tecnología disponible. En los primeros días las estructuras consistían de tierra apisonada, o bien de bloques de piedra acomodados uno sobre otro sin los beneficios de ningún material de liga o cementante.

En la era Egipcia se descubrió que el yeso calcinado era un material cementante y, aparentemente, se utilizó en la construcción de algunas de las pirámides. Posteriormente los griegos y los romanos descubrieron -- ciertos métodos para calcinar la piedra caliza y así obtener la cal viva, misma que después de enfriarse se empleaba en la elaboración de mortero. El mejor de los materiales utilizados por los romanos era una toba o ceniza procedente de un lugar vecino a Pozzuoli, Italia, cerca del Monte Vesubio, de ahí el nombre "Puzolana", utilizado para identificar un cierto tipo de agregado mineral usado en el concreto de nuestros días.

En 1824 Joseph Aspdin, un albañil de Leeds, Inglaterra, patentó un material que llamó cemento Portland, así denominado porque el concreto elaborado con el mismo se semejaba (al menos así se suponía) a las canchales de piedra caliza cercanas a Portland, Inglaterra. Por lo general a Aspdin se le acredita el haber inventado un método para proporcionar -- una mezcla con piedra caliza y arcilla, la que se calcinaba a elevadas temperaturas para producir escorias de cemento (Clinker), y posteriormente triturar esta escoria para producir un cemento hidráulico.

Los primeros trabajos para fabricar cemento Portland en Inglaterra fueron establecidos por James Frost en 1825. Las primeras plantas establecidas fuera de Inglaterra se hicieron en Bélgica y Alemania en 1855. - En Estados Unidos comenzó a fabricarse cemento Portland en 1875 y en México a principios del siglo XX.

Por el resultado de la demanda de dicho material para la fabricación de obras civiles se debe tener un buen control de calidad del concreto hidráulico, por que se puede decir que es materia prima de toda obra.

El presente trabajo contiene en su primera parte, los aspectos de control de calidad durante la producción, desde la selección, control y suministro de los materiales, hasta la fabricación y transporte del producto.

En su segunda parte se trata la verificación de la calidad del concreto producido, donde se obtienen datos que retroalimentan la información de la primera parte, la cual nos permitirá hacer las correcciones necesarias para optimizar el costo y la calidad del producto; también se menciona la interpretación de la información generada por el laboratorio de control de calidad, como son los resultados de los reportes de ensayos realizados y las cartas de control.

Finalmente, se resume a grandes rasgos cada uno de los temas tratados, destacando los aspectos más relevantes.

II.- CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCION

El control de calidad de los materiales es un concepto relativamente viejo, tal y como se ha venido aplicando en la producción de las fábricas o talleres establecidos. En la industria de la construcción, los ejemplos típicos son el control de la fabricación del cemento y del acero; como lo es también el caso del concreto, que es una actividad muy completa y en la mayor parte de los trabajos existen muchos factores que contribuyen a lograrlo; el objetivo del control de concreto es que este material sea uniforme y de calidad satisfactoria en las estructuras, a un costo mínimo. Para estos y otros productos, el control de calidad y el uso de materiales adecuados son esenciales para asegurar que el producto terminado se ajustará a las normas establecidas.

El concreto como se sabe, es una roca artificial a la cual se le puede diseñar su resistencia a la compresión, y depende mucho de la relación agua-cemento; el primer criterio para producir concreto de resistencia adecuada es, por consiguiente, conservar uniforme dicha relación. La cantidad de cemento puede medirse con precisión, el problema de mantener la relación uniforme, es principalmente controlar el contenido de agua, esto se complica porque los agregados tienen una humedad libre variable.

Al concreto principalmente se le requiere en función de su resistencia; en el momento en que se produce, entrega y coloca, se desconoce su re-

sistencia a la compresión, ya que ésta se incrementa gradualmente a través del tiempo; generalmente, cuatro semanas después de un colado se obtienen los resultados, para entonces es muy probable que de no cumplirse lo esperado, esto es, que desarrolle una determinada resistencia, -- sea demasiado tarde para hacer correcciones, ya que de acuerdo a los modernos procedimientos constructivos, los avances de la obra son sorprendentes, y suponiendo que se hubiese colado este concreto en la cimentación de un edificio, seguramente se llevarían construidos más de un entrepiso. En ese momento no se puede regresar simplemente el producto de menor calidad, por lo contrario, esto redundará en reparaciones costosas, tal vez demoliciones, atrasos importantes de obra y en fin, pérdidas que no debieron presentarse. Ciertamente lo anterior sucedería en el mejor de los casos, ya que si esta situación no fuese detectada, podría tal vez ocasionar una falla de la estructura con la consiguiente pérdida de vidas.

Desde el momento en que el concreto se coloca en la obra está sujeto a influencias naturales de deterioro, capaces por sí solas de destruir -- una estructura de concreto en un período relativamente corto, consecuentemente el poder destructivo potencial de cada una de dichas influencias debe de determinarse e incluirse en las especificaciones apropiadas para contrarrestarlas; estos son los resultados de las investigaciones -- que han de ejecutarse en un laboratorio, en el que se harán las pruebas para valuar la capacidad del concreto para resistir las fuerzas detri-- mentales.

Existe un aspecto interesante, y consiste en que generalmente como Di--

rector Técnico de un Laboratorio, se tiene a personas de reconocido -- prestigio, algunos con estudios de post-grado, de cuya capacidad y conocimiento no se duda. Pero que pasa con el personal que tienen en la obra, el que obtiene las muestras, fabrica los cilindros, con el que -- los descimba, transporta, identifica y ensaya; aquí se puede decir -- que es generalmente personal no calificado, y desgraciadamente en esta gente es en quien radica el resultado final de los cilindros. En síntesis, en la mayoría de los casos el trabajo de estos laboratorios culmina en falsas alarmas, las cuales también ocasionan pérdida de tiempo y dinero.

2.1 CERTIFICACION, VERIFICACION Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

Nadie puede negar que este aspecto reviste una gran importancia en términos generales para cualquier producción de concreto, pero en lo que se refiere a su producción a nivel industrial es decisivo y crítico; -- porque pueden existir desperfectos en los instrumentos dosificadores -- de material (de más o de menos), y esto hace cambiar la resistencia de un concreto.

Lo curioso es que un desajuste de esta índole es fácil que se presente, por causas tales como, el que la báscula se haya movido de su lugar y este rozando, que el mecanismo se haya ensuciado, que la misma planta se haya asentado y en un momento dado la báscula se apoye en el piso, -- etc. Así como un desajuste en el equipo de medición puede ocasionar serios problemas, en el caso del equipo de descarga y mezcla reviste la

misma importancia. Si en una planta dosificadora de materiales en seco no se protege a estos al descargar en la unidad motomezcladora una vez que han sido pesados, es común que se pierdan, tal es el caso del cemento que se vuela con el aire, ó que se altere el contenido de agua en la mezcla por efectos de la lluvia. Otro ejemplo simple pero real es el que en una planta mezcladora, las aspas de la misma se hayan desgastado y por consiguiente el mezclado sea deficiente, lo que ocasiona adicionalmente problemas en el control del revenimiento, ya que la apariencia de la mezcla no es la real, debido al mal mezclado.

Todo esto, condiciona a tener control necesario en lo que a certificación, verificación y mantenimiento del equipo se refiere.

2.1.1 BASCULAS

Las plantas dosificadoras deben estar provistas de depósitos con compartimientos separados adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños del agregado grueso utilizado; cada compartimiento del depósito debe ser marcado y operado en tal forma que la descarga a la tolva pesadora sea eficiente y libre, con una segregación mínima. Se debe contar con instrumentos de control, que puedan interrumpir la descarga del material en el momento que la tolva-báscula contenga la cantidad deseada.

Báscula de Agregados.- Cuando los agregados se pesen individualmente, la cantidad indicada por la tolva-báscula debe tener una tolerancia de ± 2 por ciento del peso requerido, Cuando los agregados se pesen en --

forma acumulada y su peso sea del 30 por ciento ó más de la capacidad de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de ± 1 por ciento - y si el peso es menor del 30 por ciento la tolerancia máxima debe ser de ± 3 por ciento de la capacidad total de la báscula ó de ± 3 por ciento del peso requerido acumulado, aceptando el valor que sea menor.

Báscula de Cemento.- Cuando la cantidad de cemento de una revoltura de concreto sea igual o exceda al 30 por ciento de la capacidad total de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de ± 1 por ciento del peso requerido. Para revolturas menores, donde la cantidad de cemento es menor del 30 por ciento de la capacidad total de la tolva-báscula, la cantidad de cemento pesado no debe ser menor que la requerida, ni mayor que 4 por ciento.

Báscula de Agua.- En el agua de mezclado se considera el agua que se adiciona a la revoltura, el agua que esta en forma de humedad superficial en los agregados y el agua agregada con los aditivos. El agua añadida debe ser medida por peso o por volumen con una tolerancia de ± 1 por ciento. En el caso de camiones mezcladores, cualquier agua de lavado en la olla debe eliminarse antes de cargar las siguientes revolturas de concreto. Los aparatos para la medición de agua deben estar arreglados de tal forma que las mediciones no sean afectadas por verificaciones de presión en la tubería de abastecimiento de agua y los tanques de medición deben estar equipados con vertedores y válvulas para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

Dosificadoras de Aditivo.- Los aditivos en polvo se pesan y los aditivos en pasta ó líquidos se pueden medir por peso ó por volumen con una tolerancia de ± 3 por ciento de la cantidad requerida, incluyendo las pozolanas o cenizas volantes. Los equipos de medición del aditivo deben proporcionar a la revoltura la cantidad requerida con la precisión establecida y deben contar con válvulas y vertedores para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de aditivos en el dispositivo.

Las básculas para dosificar los ingredientes de concreto pueden ser de balancín ó carátula, sin resorte. Se pueden aceptar equipos para pesar (eléctricos, hidráulicos, celdas de carga) diferentes a las básculas de balancín o de carátula, sin resorte, siempre y cuando cumplan con las tolerancias señaladas.

2.1.2 MEZCLADORAS

Una vez medidas las cantidades de los materiales, el siguiente paso -- consiste en revolverlos hasta una mezcla uniforme, homogénea. Existe una gran variedad de mezcladoras, pero de acuerdo a su funcionamiento pueden clasificarse en dos categorías:

- Revolvedoras que mezclan materiales por gravedad ó caída libre y,
- Revolvedoras que inducen mezcla forzada en los materiales.

En los equipos que mezclan por caída libre o gravedad, unas aspas elevan el material hasta cierto nivel, y lo dejan caer sobre el resto de

la revoltura, con lo cual se produce el doble efecto de distribución y batido. En esta categoría se encuentran todas las revolvedoras de tambor entre ellas el camión revolvedor, y estas son propias para mezclas cuya resistencia varía de semiplástica a flúida, esto es, de revenimiento de 5 cm a 14 cm.

En la segunda clasificación de mezcla forzada, cuando el material resulta semiconfinado entre las paredes del recipiente, las paletas que lo desplazan le producen un aspecto de amasado. De esta clase son las revolvedoras llamadas de tazón ó de turbina las cuales son muy diferentes, se usan para mezclas de consistencia seca y permiten producir con creto con agregado máximo hasta 1 1/2", sin ningún problema.

Independientemente del tipo de la revolvedora, es necesario que esta produzca una mezcla homogénea de acuerdo con las dosificaciones. Dependiendo del equipo con el que se cuente esto depende principalmente de dos variables: la velocidad de rotación y del tiempo de mezclado.

La velocidad de rotación no debe ser demasiado lenta porque se tendrá un mezclado débil y no se logrará una adecuada homogeneización; por otro lado, no es conveniente que sea demasiado rápida ya que se propicia la segregación de los materiales en función de su tamaño.

Es claro que dependiendo del tipo y capacidad de una revolvedora se tendrá una velocidad y un tiempo óptimo de mezclado, pero en lo que a revolvedoras de tambor giratorio se refiere, que es el caso de las unidades motomezcladoras (ollas), se tiene lo siguiente:

Velocidad Óptima de
mezclado aproximado

$$n = \frac{20}{D}$$

siendo:

n= velocidad de rotación en r.p.m.

D= Diámetro máximo del tambor en metros

Tiempo Óptimo de
mezclado aproximado

$$t = KD$$

siendo:

t= tiempo óptimo de mezclado en segundos

D= Diámetro máximo del tambor en metros

K= Constante que depende de las características del concreto y del tipo de revolvedora.

En condiciones normales se puede considerar K=90 para revolvedoras de eje inclinado.

Para lograr la uniformidad en el concreto, deben cumplirse ciertos requisitos, los cuales se especifican en la norma D.G.N. tabla 6, la cual se reproduce a continuación:

TABLA 6

REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DE MEZCLADO DEL CONCRETO

Prueba.	Diferencia máxima permisible entre resultados de prueba con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga (*)
Peso volumetrico (determinado según la norma DGN-162) en - - kg/m ³	15 kg/m ³
Contenido de aire en % de volumen del concreto (determinado según norma DGN-C-157) para concretos con aire incluido.	1%
Revenimiento:	
Si el revenimiento promedio es menor de 5 cm.	1,5 cm
Si el revenimiento promedio está comprendido entre 5 y 10 cm.	2.5 cm
Contenido de agregado grueso retenido en la malla No. 4 expresado en porcentaje del peso de la muestra.	6%
Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra. En porcentaje (**)	7.5%

(*) Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla, deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga.

(**) La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada en tanto se obtengan los resultados de la prueba de resistencia.

Es recomendable agregar el cemento junto con los agregados para evitar que se formen grumos, cuando todos los agregados se encuentran en una tolva.

El agua debe comenzar a vaciarse unos segundos antes que los demás materiales y continuar esta descarga durante el tiempo de vaciado de los sólidos.

Cuando el cemento y el agregado se vacían separadamente en la revolvedora, se debe asegurar que el cemento no entre primero, hay que cargar antes parte del agregado grueso y parte del agua, después el cemento y finalmente el resto del agregado y del agua.

Los materiales sólidos deben variarse gradualmente para que se produzca una corriente más o menos uniforme de todos ellos en el interior de la revolvedora, la cual debe estar girando durante la operación. No es -- conveniente el vaciado súbito de ninguno de los ingredientes.

Mezcladoras Estacionarias.

Deben estar equipadas con una o más placas metálicas en las cuales esté claramente marcada la velocidad de mezclado de la olla o de las aspas y la capacidad máxima en términos de volumen de concreto mezclado, cuando se usan para el mezclado completo. Las mezcladoras estacionarias deben equiparse con dispositivo de tiempo adecuado que permita controlar el tiempo de mezclado especificado. El tiempo de mezclado debe ser medido desde el momento en que estén todos los materiales en el interior de la mezcladora, incluyendo el agua, y para verificar éste, de--

ben hacerse las pruebas de uniformidad. Cuando no se hacen pruebas de uniformidad del mezclado, el tiempo aceptable para revolvedoras que -- tengan una capacidad de 1,0 metro cúbico o menos y cuyo revenimiento - sea mayor de 5 cm, no debe ser menor de un minuto. Para mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo especificado en el párrafo anterior, debe ser aumentado en 15 segundos por cada metro cúbico más que aumente.

Camiones mezcladores y agitadores.

El concreto premezclado se entrega generalmente en un camión mezclador que puede utilizarse de cualquiera de las siguientes maneras:

1. Como agitador, para transportar concreto que ha sido mezclado en una mezcladora de la planta. Durante el trayecto, el tambor de la mezcladora gira lentamente, a razón de 1 ó 2 revoluciones por minuto, solamente para conservar el concreto en movimiento constante.- Cuando el camión llega a la obra, el tambor debe acelerarse hasta alcanzar de 10 a 15 revoluciones por minuto, durante 3 minutos por lo menos, para garantizar que el concreto está bien mezclado y homogéneo antes de descargarlo, y se puede cargar hasta un 80 por -- ciento de su capacidad.
2. Como camión mezclador, ya sea para mezclado completo en la planta, o bien en la obra. Cuando el agua se agrega en la obra, el tambor de la mezcladora debe girar alrededor de 100 revoluciones después de la adición del agua, para garantizar que el concreto esta suficientemente mezclado. Se requerirán de 7 a 10 minutos para llevar

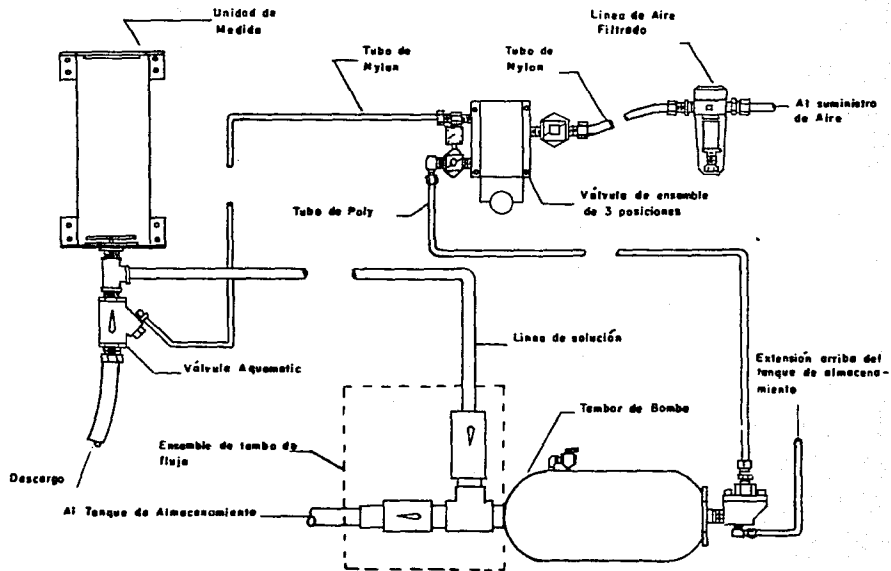
a cabo el mezclado, puesto que los tambores de las mezcladoras giran por lo general a 10 ó 15 revoluciones por minuto, cuando funcionan a alta velocidad el volumen del concreto no debe exceder -- del 63 por ciento del volumen total de la Unidad.

2.1.3 DOSIFICADORAS DE ADITIVOS

Existen una diversidad de equipos y procedimientos para dosificar los aditivos, de acuerdo a la presentación de los mismos.

Como ilustración se toma como ejemplo un equipo de dosificación manual de 3 posiciones, cuyo funcionamiento es a base de aire. Cabe aclarar - que por lo general estos equipos son proporcionados por el productor - del aditivo, quien debe de verificar su funcionamiento y darle el mantenimiento correspondiente. No obstante y debido a que el operador de la planta es quien lo emplea, es conveniente que conozca sus funciones y en caso de algún problema pueda reportarlo correctamente, ó bien, - resolverlo el mismo.

DIAGRAMA EQUIPO DOSIFICADOR 3 POSICIONES



PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO DE DOSIFICADORES DE 3 POSICIONES

PROBLEMAS HABITUALES

1.- LA BOTELLA MEDIDORA NO SE LLENA.-

causas:

- a) El tanque de almacenaje está vacío.
- b) El suministro de aire está cerrado
- c) La línea de aire que va de la válvula de 3 posiciones a la válvula de alivio en la bala, no está conectada o está rota.
- d) Funcionamiento incorrecto de la válvula de alivio en la bala.
- e) Línea de llenado de aditivo rota u obstruida.
- f) La válvula de compuerta del tanque a la bala está cerrada.
- g) La válvula "Chek" repleta.

2.- LA BOTELLA MEDIDORA SE LLENA, PERO NO PARA EN EL NIVEL DESEADO.

causas:

- a) Funcionamiento incorrecto de la válvula de alivio en la bala.
- b) La línea de aire que va del orificio de la bala a la atmósfera está obstruida.
- c) Funcionamiento incorrecto de la válvula de 3 posiciones.
- d) Efectos de sifón.

3.- LA BOTELLA MEDIDORA NO DESCARGA**causas:**

- a) Funcionamiento defectuoso de la válvula de alivio en la botella medidora.
- b) Línea de descarga rota u obstruida.
- c) La línea de aire de la válvula de 3 posiciones a la botella medidora y a la válvula Aquamatic no está conectada ó tiene fugas.
- d) La válvula Aquamatic no está abierta.
- e) Mal funcionamiento en la válvula de 3 posiciones.

4.- LA BOTELLA MEDIDORA SE LLENA ESTANDO LA VALVULA DE 3 POSICIONES EN NEUTRAL.**causas:**

- a) Mal funcionamiento de la válvula de 3 posiciones.
- b) La botella medidora está al mismo nivel ó más bajo que el tanque de almacenaje.

5.- LA BOTELLA MEDIDORA CONTINUA DESCARGANDO CUANDO LA VALVULA DE 3 POSICIONES ESTA EN NEUTRAL.**causas:**

- a) Mal funcionamiento de la válvula de 3 posiciones.
- b) Efecto de sifón.

MANTENIMIENTO REQUERIDO PARA EL DOSIFICADOR MANUAL DE 3 POSICIONES

1.- VALVULAS DE ALIVIO (BALA Y BOTELLA).

- a) Desarmar y limpiar todas las partes con agua.
(mínimo cada dos meses)

2.- VALVULAS DE 3 POSICIONES.

- a) Desarmar y limpiar todas las partes.
(una vez al año)

3.- LINEAS DE AIRE Y CONDUCCION.

- a) Checar todas las líneas y conexiones de aire para buscar fugas cada vez que se visite la planta.
(mínimo dos veces al año)

4.- MEDIDOR VISUAL DE ADITIVO. (a un lado del tanque de almacenaje).

- a) Desarmar y limpiar la manguera interior cuando menos dos veces al año.
(cambiar cuando esté decolorada o quebradiza)

5.- BOTELLA CALIBRADORA

- a) Desarmar la botella calibradora y limpiar el tubo de plástico.
(mínimo cada seis meses)

2.2 CONTROL DE MATERIALES

La importancia de usar el agregado fino o grueso del tipo y calidad -- adecuados, no puede subestimarse, puesto que la piedra y la arena juntas constituyen alrededor de las tres cuartas partes del concreto. El primer paso para elaborar un buen concreto es, obviamente, ver que los agregados sean buenos.

En este aspecto es en donde vale la pena invertir para lograr un buen control, ya que partiendo de la base de que se han utilizado buenos materiales, y que las deficiencias o variaciones normales de estos se -- han tomado en cuenta en la dosificación, es como se puede tener la -- tranquilidad de que el comportamiento probabilístico del concreto se -- presentará de acuerdo a lo estimado, y se tendrá seguridad de que el -- nivel de calidad que se haya propuesto se logrará.

2.2.1 CONTROL DEL CEMENTO

Si una mezcla de arcilla y caliza o marga triturada se quema a muy elevadas temperaturas en un horno rotatorio, se forma el clinker, cuando a este se le agrega una pequeña cantidad de yeso y se le muele hasta formar un polvo fino, se obtiene el cemento Portland. Se puede considerar los siguientes consumos generales aproximados de materias primas -- por cada tonelada de cemento: caliza 1200 kg, arcilla 370 kg, yeso 60 kg, mineral de fierro 30 kg, material silicoso (cuarzo) 30kg. Estos -- dos últimos materiales sólo se emplean cuando se requiere fabricar cementos especiales. Este polvo que se denomina cemento no es realmente

un cemento, sólo después de mezclado con agua para formar una pasta -- por medio del proceso químico de la hidratación adquiere sus propiedades cementantes.

Cuando el cemento se mezcla con el agua, se inicia una reacción química; cada partícula de cemento adquiere un tipo de crecimiento en su superficie, que gradualmente se extiende hasta unirse con otras partículas en crecimiento. Es esta unión la que da como resultado el progresivo endurecimiento y consolidación, y el desarrollo de resistencia del concreto. La consolidación de la mezcla puede reconocerse por la pérdida de trabajabilidad; generalmente ocurre unas cuantas horas después - del colado y la compactación del concreto, depende de las proporciones de la mezcla y de las condiciones ambientales. Subsecuentemente, una o dos horas después, el concreto fragua y se endurece.

Las características y la calidad del cemento es lo que más influye en las características y calidad del concreto, así mismo en su costo.

El cemento Portland se clasifica en los siguientes tipos:

Tipo I: Para usarse en construcciones de concreto en general, cuando no se requieran las propiedades especiales señaladas para los tipos II, III, IV y V.

Tipo II: Para usarse en construcciones de concreto expuesto a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiera generación moderada de calor de hidratación.

Tipo III: Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera alta resistencia, a corta edad.

Tipo IV: Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Basta saber que el cemento está constituido por cuatro componentes químicos principales:

Silicato tricálcico (3CaOSiO_2)	= C_3S
Silicato dicálcico (2CaOSiO_2)	= C_2S
Aluminato tricálcico ($3\text{CaOA}_2\text{O}_3$)	= C_3A
Ferroaluminato tetracálcico ($4\text{CaOA}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$)	= C_4AF

En el momento en que entran en combinación el cemento y el agua se inicia una serie de reacciones químicas que producen a la adquisición de resistencia, los silicatos de calcio (C_3S y C_2S) se hidratan formando disilicato tricálcico hidratado ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) y liberando cierta cantidad de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2).

Durante el proceso de hidratación del cemento en su fase inicial existe una absorción rápida de agua, la cual se va reduciendo conforme se van presentando etapas posteriores. No obstante no existe una proporción precisa entre el grado de hidratación del cemento y su resis-

cia. Por ejemplo los compuestos del cemento se hidratan a diferentes velocidades en el siguiente orden decreciente: C_3A , C_4AF , C_3S , y C_2S y en lo particular el C_3A y C_4AF contribuyen muy poco a la resistencia, en tanto que la hidratación del C_3S responde por la mayor parte de las resistencias iniciales. El C_2S se hidrata en forma lenta pero continua y su contribución a la resistencia es muy importante.

Para ilustrar lo anterior, se puede establecer una comparación entre un cemento tipo III con un alto contenido de C_3S y un cemento tipo V - bajo en este compuesto pero alto en C_2S . A edades tempranas la diferencia es marcadísima en tanto el cemento tipo III a 7 días en cubos estándar presenta resistencias cercanas a los 280 kg/cm², el cemento tipo V apenas ha alcanzado 100 kg/cm². A los 28 días de edad la influencia se ha acortado, básicamente debido a que el incremento de resistencia en el cemento tipo III de 7 a 28 días ha sido poca, aproximadamente 50 kg/cm², en tanto que el tipo V ha aumentado en más del doble. Finalmente a los 90 días se pueden igualar sus resistencias, a partir de ese momento el cemento tipo V sobrepasa al tipo III, debido básicamente a que por haberse hidratado más lentamente su cristalización fué mejor.

Cada uno de los componentes principales del cemento, tiene influencia definitiva en las características del mismo, al variar en más o en menos su contenido. Se hace la aclaración de que las variaciones en los componentes a los que se hace referencia, son en un mismo tipo de cemento.

Un ejemplo muy común, se presenta cuando hay variaciones en el contenido del C_3S es decir, éste aumenta o decrece en tanto que el C_2S generalmente presenta el comportamiento inverso. Como se sabe, el silicato tricálcico C_3S es el que da la resistencia a edades tempranas en tanto que la influencia del silicato dicálcico C_2S se presenta a edades mayores, generalmente se empieza a sentir su efecto después de los 14 días.

Por decir algo, en el cemento tipo I, el porcentaje del C_3S es del orden de un 50 por ciento, en estas condiciones las resistencias a compresión en cubos a 24 horas son del orden de 100 kg/cm² y a 28 días de 350 kg/cm².

Se dan casos en que los contenidos de estos compuestos varían hasta -- igualarse en un 35 por ciento, teniendo a 24 horas, sin variar el tipo de ensayos, resistencias menores a 50kg/cm² y en algunos casos a 28 -- días superiores a 400 kg/cm².

Un problema muy común es la variación en la finura; como se sabe al aumentar ésta, la velocidad de hidratación del cemento también se ve aumentada, y por tanto su adquisición de resistencias a edades iniciales, disminuyendo esta a edades posteriores; en el caso contrario los efectos son inversos. Definitivamente, este es un índice que debe determinarse diariamente y en los diferentes tipos de cemento que se empleen, y que sólo así se podrá en un momento dado establecer comparaciones entre los resultados de resistencia en el cemento, su finura y la resistencia en el concreto y tener elementos de juicio suficientes para -- efectuar la corrección adecuada.

Otra situación que normalmente existe en una compañía premezcladora, es la necesidad de adquirir cemento de diferentes fabricas, pues bien, lo que necesariamente debe hacerse, es procurar que cada marca diferente de cemento se emplee en determinadas plantas sin que se mezcle con otras, ya que es muy común que las finuras, tiempo de fraguado y resistencias sean diferentes, lo que puede ocasionar problemas como los que a continuación se describen:

- En el caso de que las finuras sean diferentes, el calor de hidratación de ambos cementos también será diferente y por consecuencia las deformaciones y los tiempos de fraguado presentarán esta misma característica; esto ocasiona que se presenten fisuras en el concreto, debido a diferentes contracciones en diferentes estados de endurecimiento, lo cual origina esfuerzos residuales en el concreto endurecido.
- Hay ocasiones en que el índice de resistencia del cemento en alguna marca en particular, durante un lapso determinado es superior a las otras. Si se mezcla este cemento con otros, es claro que esta ventaja no podrá capitalizarse ya que es practicamente imposible establecer en que parte se ha colocado esta mezcla.

La intención que se tiene al hablar sobre el control de calidad del cemento, en síntesis es que debido a que este material corresponde al de mayor variación y mayor costo de los componentes del concreto, debe de manejarse y controlarse técnicamente de tal suerte que se optimice su empleo. Asimismo, debe ponerse especial atención en las diferentes --

pruebas de control que en las mezcladoras deben implantarse, tanto físicas como químicas, con la seguridad de que esta inversión presentará utilidades adicionales y permitirá inclusive, en un momento dado, deslindar responsabilidades.

2.2.1.1 PRUEBAS FISICAS

Las pruebas físicas que a continuación se describen, son las que sistemáticamente deben realizarse, ya que proporcionan los índices que definirán en un momento determinado el comportamiento del cemento.

Prueba con el turbidímetro de Wagner.- Su objetivo es determinar la finura del cemento, midiendo la superficie específica de las partículas del mismo, expresada en forma de área superficial total, en cm^2/g . La prueba consiste en pasar rayos de luz aproximadamente paralelos a través de una suspensión del cemento por probar y que hieran la placa sensible de una celda fotoeléctrica. La corriente generada por la celda se mide con un microamperímetro, lo cual representa una medida de la turbidez de la suspensión, y está, a su vez, en una medida de la superficie específica. La finura es una propiedad importante del cemento, ya que de ella dependen la velocidad de hidratación, desarrollo de la resistencia, etc.

Prueba de permeabilidad de aire con el aparato de Blaine.- También el objetivo de esta prueba es medir la finura del cemento; en términos generales la prueba consiste en extraer una determinada cantidad de aire, a través de una capa de cemento de una porosidad definida. El número y

el tamaño de los poros en una capa de porosidad definida, es función del tamaño de las partículas y determina la velocidad con que el aire fluye a través de la capa.

Expansión en autoclave.- El objetivo es determinar la sanidad del cemento, al poner de manifiesto la presencia de compuestos como pueden ser la cal libre, sulfato de magnesio o sulfato de calcio, en proporciones perjudiciales. La prueba consiste en elaborar una pasta de cemento y agua que tenga una consistencia normal con la cual se llenan los moldes especificados, los que se pondrán a curar en un cuarto húmedo por 24 horas; posteriormente, dichos moldes se extraen del cuarto húmedo, se miden y se colocan en el autoclave, el cual deberá contener una cantidad de agua suficiente para mantener una atmósfera de vapor saturado durante todo el tiempo de la prueba; a continuación, se eleva la temperatura del autoclave con una rapidez tal, que se alcance una presión de 20.7 kg/cm² en una hora 15 minutos, la cual se mantendrá durante 3 horas. Transcurrido este tiempo, se interrumpe el calentamiento, de tal manera que la presión llegue a menos de 0.7 kg/cm² en una hora 30 minutos. En seguida, los especímenes se colocan en agua a 90°C, la cual se deja enfriar, agregando agua fría, de modo que la temperatura del agua baje a 23°C en 15 minutos y después de esto, se secará la superficie de los especímenes y se medirá su longitud nuevamente; la diferencia en la longitud del espécimen, antes y después del tratamiento en el autoclave, expresada como porcentaje de la longitud original es la expansión del cemento. Es esencial que la pasta de cemento una vez fraguada, no sufra un gran cambio de volumen; en particular no debe haber una expansión apreciable, la cual, bajo condiciones de esfuer

zo, podría ocasionar un rompimiento de la pasta de cemento endurecida.

Tiempo de fraguado.- Esta prueba tiene como objetivo medir la rigidez que alcanza la pasta de cemento en un lapso determinado. En general, - el fraguado se refiere a un cambio de un estado flúido a un estado rígido. En la práctica se utilizan los términos fraguado inicial y fraguado final, para cuya determinación existen dos métodos, la prueba de Gillmore y la prueba de Vicat.

La determinación del tiempo de fraguado por el método de Gillmore consiste en lo siguiente: se elabora una pastilla de 7,6 cm de diámetro y 1.27 cm de espesor con la pasta de cemento preparada, la cual se coloca en un gabinete o un cuarto húmedo; se considerará que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando la pastilla soporte, sin una penetración apreciable la aguja de Gillmore inicial (113.4 gr de peso y -- 2.12 mm de diámetro) y que ha alcanzado el fraguado final, cuando la pastilla soporte, sin una penetración apreciable, la aguja de Gillmore final (453.6 gr de peso y 1.06 mm de diámetro). Para determinar el -- tiempo de fraguado por el método de Vicat, se utiliza una aguja redonda o cuadrada, con una área transversal de 1 mm², la cual debe penetrar una longitud específica en la pasta de cemento.

Los fraguados iniciales y finales se expresan como el tiempo transcurrido desde el momento en que se agrega el agua al cemento.

Contenido de aire del mortero.- Como su nombre lo indica, el objetivo

de la prueba es medir el contenido de aire en un mortero de cemento hidráulico. La prueba consiste en preparar un mortero con cemento, arena y agua con determinadas características de fluidez; a continuación, se llena un recipiente de 400 mililitros con tres capas dándole 20 golpes con la espátula a cada capa; posteriormente, se determina el peso de los 400 mililitros de mortero. El contenido de aire del mortero se calcula con la siguiente fórmula:

Contenido de aire, porcentaje por volumen = $100 - W \frac{182.7 + P}{2000 + 4P}$ donde:

W = Peso de los 400 mililitros de mortero en gramos.

P = Porcentaje de agua en la mezcla, basado en el peso del cemento usado.

Resistencia a la compresión, en kg/cm².- La prueba tiene como objeto determinar la resistencia a la compresión del mortero de cemento a diferentes edades. La prueba consiste en elaborar un mortero con una parte de cemento y 2.75 partes de arena graduada, el cual debe cumplir con la fluidez especificada; posteriormente, se llenan los moldes dándole al mortero un acomodo especificado; inmediatamente después, los moldes se colocan en el cuarto húmedo durante 24 horas, pasadas las cuales se sumergen los especímenes en agua limpia. Finalmente, los especímenes se prueban a la compresión a las edades especificadas.

Resistencia a la tensión, en kg/cm².- La prueba consiste en elaborar especímenes o briquetas de prueba, con mortero que tenga una parte de cemento y 3 partes de arena; una vez elaborados los especímenes, se co

locan en el cuarto húmedo por 24 horas y posteriormente se sumergen en agua limpia. Una vez curados los especímenes, se prueban a la tensión a diferentes edades, utilizando un aparato especial.

Calor de hidratación del cemento.- Mide la cantidad de calor, en calorías por gramo, que se dispersa al someter un cemento deshidratado a una hidratación completa y a una temperatura dada. El método más común para medir el calor de hidratación consiste en determinar el calor de soluciones de cementos deshidratados e hidratados en una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico; la diferencia entre estos 2 valores representa el calor de hidratación,

Falso fraguado.- El objetivo de prueba es determinar la rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta dentro de los 2 primeros minutos después de haberlo mezclado con agua. La prueba consiste en -- elaborar un mortero con 600 gr de cemento, 300 gr de arena graduada de Otawa y 180 mililitros de agua; una vez elaborada la mezcla, se coloca en el recipiente e inmediatamente se somete a penetraciones con el aparato de Vicat, en diferentes periodos. Si la penetración de la aguja - del citado aparato es de menos de 25 mm en el lapso de 45 minutos, se dice que existe falso fraguado del cemento,

El cemento Portland de cada uno de los cinco tipos señalados en el inciso anterior de este capítulo; deberá satisfacer los requisitos físicos que se mencionan en la siguiente tabla según las Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

REQUISITOS FISICOS DEL CEMENTO PORTLAND

REQUISITOS	TIPO				
	I	II	III	IV	V
Finura, superficie específica, cm ² /g (métodos optativos) (a)					
Prueba con el Turbidímetro de Wagner:					
Valor promedio, mínimo.....	1 600	1 600		1 600	1 600
Valor mínimo en cualquier muestra.....	1 500	1 500		1 500	1 500
Prueba de permeabilidad de aire con el aparato Blaine:					
Valor promedio, mínimo.....	2 800	2 800		2 800	2 800
Valor mínimo en cualquier muestra.....	2 600	2 600		2 600	2 600
Sanidad:					
Expansión en autoclave, máximo, por ciento.....	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tiempo de fraguado (métodos optativos) (b)					
Prueba de Gillmore:					
Fraguado inicial en minutos, no menos de.....	60	60	60	60	60
Fraguado final en horas, no más de.....	10	10	10	10	10
Prueba de Vicat:					
Fraguado en minutos, no menos de.....	45	45	45	45	45
Contenido de aire del mortero, por ciento en volumen, no mayor de...	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Resistencia a la compresión, en kg/cm ² (c):					
La resistencia a la compresión en cubos de mortero compuesto de —					
una (1) parte de cemento y dos punto setenta y cinco					
(2.75) partes de arena graduada, en peso, será igual					
o mayor que los valores especificados para las edades					
indicadas a continuación:					
Un (1) día en aire húmedo.....			120		
Un (1) día en aire húmedo y dos (2) días en agua.....	85	70	210		
Un (1) día en aire húmedo y seis (6) días en agua....	150	130		56	105
Un (1) día en aire húmedo y veintisiete (27) días en agua,	245	245		140	210
Resistencia a la tensión, en kg/cm ² (c)					
La Resistencia a la tensión en briquetas de mortero compuesto de					
Una (1) parte de cemento y tres (3) partes de arena —					
estándar en peso, será igual o mayor que los valores					
especificados para las edades indicadas a continua-					
ción:					

REQUISITOS	TIPO				
	I	II	III	IV	V
Un (1) día en aire húmedo.....			19		
Un (1) día en aire húmedo y dos (2) días en agua.....	10	9	26		
Un (1) día en aire húmedo y seis (6) días en agua....	19	18	(c)	12	18
Un (1) día en aire húmedo y veintisiete (27) días en agua.	25	23	(c)	21	23
Calor de hidratación en calorías por gramo, a las edades indicadas a continuación: (d)					
Siete (7) días, máximo.....		70			
Veintiocho (28) días, máximo.....		80			
Falso fraguado, penetración final, mínimo, por ciento (e).	50	50	50	50	50

- (a) Puede usarse cualquiera de los dos (2) métodos optativos de finura a elección de la Secretaría. Sin embargo, en caso de desacuerdo o cuando la muestra no cumpla con los requisitos señalados para la prueba con el aparato de Blaine, se usará el Turbidímetro de Wagner y regirán los requisitos señalados en este inciso, para este método.
- (b) La Secretaría deberá especificar el tipo de prueba de tiempo de fraguado requerido. En caso de no especificarlo o de desacuerdo, únicamente se considerarán válidos los resultados de la prueba de V_I cat.
- (c) La Secretaría deberá especificar el tipo de prueba de resistencia requerido. En caso de que no lo especifique, únicamente regirán los requisitos de la prueba de resistencia a la compresión. La resistencia a cualquier edad será mayor que la obtenida a la edad inmediata anterior. A menos que se especifique otra cosa, las pruebas de resistencia a la tensión y a la compresión para los tipos de cemento I y II, se harán únicamente a los tres (3) y a los siete (7) días. Si a petición de la Secretaría, se requiere una prueba a los siete (7) días en un cemento tipo III, la resistencia a dicha edad será más alta que la correspondiente a los tres (3) días.
- (d) Estos requisitos se exigirán únicamente cuando la Secretaría lo solicite. Cuando se especifiquen los requisitos de calor de hidratación, la resistencia requerida para el tipo II deberá ser del ochenta por ciento (80%) de todos los valores consignados en la tabla.
- (e) Estos requisitos se aplicarán únicamente cuando la Secretaría lo requiera.

2.2.1.2 PRUEBAS QUIMICAS

La composición química se determinará por medio del análisis respectivo, cuyas técnicas son una especialidad fuera del propósito de este trabajo. No obstante de los resultados obtenidos de estos análisis, se puede conocer el comportamiento posterior del cemento. A continuación se presentan los requisitos químicos del cemento Portland que se encuentran en las Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

REQUISITOS QUIMICOS DEL CEMENTO PORTLAND

COMPONENTES	T I P O				
	I	II	III	IV	V
Oxido de silicio (SiO_2), mínimo, por ciento.....		21.0			
Oxido de aluminio (Al_2O_3), máximo, por ciento.....		6.0			
Oxido férrico (Fe_2O_3), máximo, por ciento.....		6.0		6.5	
Oxido de magnesio (MgO), máximo, por ciento.....	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Trióxido de azufre (SO_3):					
Cuando $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ es 8% ó menor, máximo, por ciento.....	2.5	2.5	3.0	2.3	2.3
Cuando $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ es mayor de 8%, máximo, por ciento.....	3.0		4.0		
Pérdida por calcinación, máximo, por ciento.....	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Residuo insoluble, máximo, por ciento.....	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) (a), máximo, por ciento....				35	
Silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) (a), mínimo, por ciento.....				40	
Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) (a), máximo, por ciento...		8	(b) 15	7	5
Suma de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, máximo, por ciento.			(c) 58		
Ferroaluminato tetracálcico más dos veces el aluminato tricálcico (a) ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$) ó solución sólida ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) como se indica posteriormente, máximo, por ciento.....					20

- (a) El expresar limitaciones químicas por medio de compuestos que se suponen calculados, no significa necesariamente que los óxidos estén real o totalmente presentes como tales. Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio a óxido férrico sea de 0.64 o más, los porcentajes de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico, serán calculados a partir de los resultados del análisis químico, en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Silicato tricálcico } (C_3S) &= (4.071x\%CaO) - (7.600x\%SiO_2) \\ &\quad - (6.718x\%Al_2O_3) - (1.430x\%Fe_2O_3) \\ &\quad - (2.852x\%SO_3) \end{aligned}$$

$$\text{Silicato dicálcico } (C_2S) = (2.867x\%SiO_2) - (0.7544x\%C_3S)$$

$$\text{Aluminato tricálcico } (C_3A) = (2.650x\%Al_2O_3) - (1.692x\%Fe_2O_3)$$

$$\text{Ferroaluminato tetracálcico } (C_4AF) = 3.043x\%Fe_2O_3$$

Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio a óxido férrico sea menor de 0.64, se formará una solución sólida de ferroaluminato de calcio expresado como ss ($C_4AF + C_2F$). En este caso los contenidos de esta solución sólida y el silicato tricálcico se calcularán como sigue:

$$ss(C_4AF + C_2F) = (2.100x\%Al_2O_3) + (1.702x\%Fe_2O_3)$$

$$\begin{aligned} \text{Silicato tricálcico} &= (4.071x\%CaO) - (7.600x\%SiO_2) \\ &\quad - (4.479x\%Al_2O_3) - (2.859x\%Fe_2O_3) \\ &\quad - (2.852x\%SO_3) \end{aligned}$$

En cementos que tengan esta última relación de óxidos, no se formará aluminato tricálcico y el silicato dicálcico se calculará como

queda indicado anteriormente. El reporte del análisis químico de los cementos se hará con aproximación de un décimo por ciento (0.1%).

- (b) Cuando se requiera resistencia moderada a los sulfatos en el cemento Portland tipo III, el aluminato tricálcico no deberá ser mayor de ocho por ciento (8%) y si se requiere alta resistencia a los sulfatos en dicho cemento, el aluminato tricálcico no deberá ser mayor del cinco (5%).
- (c) Cuando no se especifiquen pruebas para la determinación del calor de hidratación y se use cemento Portland tipo II, se aplicará el valor señalado en la tabla.

INFLUENCIA DE LOS COMPUESTOS QUIMICOS
A LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

COMPUESTOS	RESISTENCIA MECANICA	CALOR DE HIDRATACION *	CAMBIOS VO LUMETRICOS	RESISTENCIA A LA CONGELACION Y DESHIELO	RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS
Silicato tricálcico. C_3S	La incrementa a edades tempranas y su efecto continúa a edades posteriores.	1,14±0.054	No tiene influencia.	La mejora	La mejora
Silicato dicalcico. C_2S	Para influencia a edades tempranas; aumenta a edades posteriores.	0,436±0,045	No tiene influencia.	La mejora	
Aluminato tricálcico. C_3A	Sólo contribuye en las primeras edades.	2,02±0,20	Los aumenta	La disminuye	Cuando es mayor de 8%, la reduce
Ferroaluminato Tetracálcico C_4AF	Tiene poco efecto	0,48±0,18	No tiene influencia		Cuando es mayor de 15% la reduce
Magnesia Periclusa, MgO			Produce expansión en agua		Cuando es mayor de 5% la reduce.

* calorías a 28 días, como porcentaje del compuesto

2.2.2 CONTROL DE LOS AGREGADOS

Puesto que el agregado ocupa, por lo menos, tres cuartas partes del volumen del concreto, no es de sorprender que su calidad revista considerable importancia. El agregado limita la resistencia del concreto, ya que un agregado débil no puede producir concreto resistente y, además, afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto.

El agregado se consideraba originalmente como un material inerte, que esta disperso dentro de la pasta de cemento y cuya motivación era sobre todo económica. Es posible, sin embargo, adoptar el punto de vista contrario, y considerar el agregado como un material de construcción que se une a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento. De hecho, el agregado no es realmente inerte y sus propiedades físicas y térmicas, y algunas veces también químicas, influyen sobre el comportamiento del concreto.

El agregado es más barato que el cemento y, por lo tanto, resulta económico poner en la mezcla un máximo de agregado y el mínimo posible de cemento, sin perjudicar las propiedades del concreto hidráulico. Pero la economía no es la única razón por la que se utiliza este material; el agregado confiere considerables ventajas técnicas al concreto, el cual tiene más estabilidad de volumen y mejor durabilidad que la pasta de cemento solo; por lo tanto, un buen concreto es el resultado de una adecuada mezcla de sus componentes, así como de las propiedades de los mismos.

Los agregados se obtienen por excavación o dragado de un banco, de un río o del fondo del mar; el agregado de roca triturada es producido -- por la explotación de la roca sólida. Antes de su entrega, el agregado generalmente es lavado; si bien, la operación de graduación o lavado - del agregado en el banco o en la planta a veces no es tan buena como - debe de ser, y no puede garantizarse que cada carga entregada en la -- obra sea de la misma calidad que las otras, entonces siempre hay variaciones, especialmente en la limpieza, la graduación y el contenido de humedad.

2.2.2.1 PRUEBAS FISICAS

Durante el proceso normal de producción de una planta premezcladora, - confozme va llegando el material se va utilizando. Es muy difícil en - estas condiciones, determinar las características del material que se está recibiendo, partiendo de la base de que es diferente en cada viaje y así mismo hacer la corrección adecuada, ya sea por humedad, densidad o granulometría.

Por está razón, es de importancia contar con personal que verifique la calidad de los agregados en las minas, y que sólo así se puede tener - la garantía de que el material que se recibirá en la planta presentará los requisitos especificados. Adn en el caso de que por determinadas - circunstancias, la situación exigiera utilizar materiales con características diferentes a las deseadas, se sabría desde antes que estos -- lleguen a las plantas.

Con lo anteriormente anotado, se ha tratado de mencionar a grandes rasgos el porqué, el real y efectivo control de los agregados se debe -- efectuar en el momento de la compra de los mismos. A continuación se -- describen las pruebas que se les realizan a los agregados, las cuales nos servirán para conocer la variabilidad y calidad de los diferentes materiales empleados.

- 1.- Densidad.- Bajo la denominación de densidad se identifica al peso específico aparente, en condición saturada y superficialmente seca.

Este es un índice muy empleado para el diseño de mezclas de concreto, ya que permite determinar el volumen de cada uno de los elementos componentes. La forma en que se determina, es por inmersión -- del material en agua en condición saturada y superficialmente seca. De éste se tiene una cantidad conocida de peso, misma que desplazará un determinado volumen de agua. Al relacionar valores, se obtendrá la densidad. DGN.C-165.

No obstante la densidad de un agregado analizada como dato aislado, no proporciona un índice claro de su calidad, el descenso significativo de la misma en agregados provenientes de un mismo origen, -- en muchos casos es síntoma de detrimento de ésta, deberá efectuarse una investigación al respecto.

Puede citarse como ejemplo, el caso del agregado fino que normalmente se emplea en el Distrito Federal. Estas arenas andesíticas, -- siendo de baja calidad (por su alta absorción y gran contenido --

de polvos), son generalmente constantes en su densidad, ya que ésta se mantiene en valores del orden de 2.36 Ton/m³. Sin embargo, cuando ésta desciende a menos de 2.35 Ton/m³, lo cual aparentemente es muy poco, es casi siempre debido a que se ha contaminado con arcilla o limos provenientes de despalmes en la explotación, lo que sucede principalmente en épocas de lluvias. Esto tiene una marcada influencia en las características del concreto, ya que estas materias deletéreas además de demandar una mayor cantidad de agua, reducen la adherencia entre los agregados, lo cual se traduce en disminución a la resistencia.

Paralelamente a esta influencia negativa en el comportamiento mecánico del concreto, se tienen problemas secundarios como lo es la menor resistencia al intemperismo y la aparición de florescencias que en el caso de elementos arquitectónicos resulta altamente desfavorables.

Otro ejemplo interesante, es el que se presenta en el agregado grueso de "escoria volcánica", esta grava tiene una densidad muy variable, ya que puede oscilar desde 1.6 Ton/m³ hasta 2.2 Ton/m³. La causa de esta variación, está en el origen de estos depósitos, ya que se tiene en un mismo banco zonas de material más poroso o más denso. La forma en que esto afecta, es distinta al ejemplo anterior de la arena, ya que en este caso, no obstante ser el material en un momento dado más ligero, lo es por tener una mayor cantidad de poros, los cuales no están comunicados entre sí, lo que de hecho no incrementa significativamente su absorción. Por otra -

parte, es un material limpio que aunque menos denso, presenta resistencia estructural suficiente para elaborar concretos convencionales y que además tendra a su favor, y debido a su mayor porosidad ventajas de adherencia. Por lo tanto como se sabe el sistema de dosificación de materiales a nivel industrial es por peso, por lo que al existir una variación importante en la densidad de algunos de los componentes de la mezcla, el volumen adicionado de no tener esto en cuenta variaría en forma importante, produciéndose cambios de volumen considerables en la producción, lo que en el primer caso ocasionaría reclamaciones, y en el segundo, problemas de resistencia.

2.- Absorción.- Por la absorción se entiende la capacidad que tienen los diferentes agregados para absorber agua, lo cual generalmente dependerá del tamaño, continuidad y cantidad total de vacíos permeables que contengan. La absorción no es un índice que determine con exactitud la calidad de un agregado, pero generalmente al incrementarse está, la calidad del agregado es menor. Cabe aclarar que existe correlación entre la absorción y la densidad; al aumentar la absorción, los agregados demandarán mayor cantidad de agua y por consecuencia se incrementará el consumo de cemento.

3.- Humedad.- La humedad en los agregados, es la cantidad de agua que contienen en determinado momento. La diferencia que existe entre ésta y la absorción, es que mientras la segunda corresponde a la cantidad de agua que un agregado debe absorber por inmersión durante 24 horas, eliminando el agua superficial, esto es, llevándolo a

la condición de saturado y superficialmente seco, la humedad representará el contenido de agua que un agregado ha adquirido y que -- puede ser menor o mayor a la capacidad de absorción. Cuando un -- agregado durante su empleo tiene menos agua de la que es capaz de absorber se dice que está subsaturado, y el caso contrario se encontrara sobresaturado.

El grado de humedad en los agregados debe conocerse invariablemente, ya que el agua en exceso o defecto que contenga, alterará en forma importante las propiedades de la mezcla.

Supóngase que se desea producir con una planta dosificadora en seco, una mezcla de características convencionales, con agregados an desfíticos, Como se sabe en el caso del agregado fino del Distrito Federal, se tienen absorciones del orden del 6 por ciento y por lo general su contenido normal de humedad cuando se está extrayendo - del banco es del mismo orden,

No obstante, si en un momento dado se obtiene esta arena de un almacén, en la parte superficial probablemente este seca, y por el - contrario en la zona inferior sobresaturada. Pues bien, volviendo al ejemplo, se ha considerado que la arena que se recibe en la -- planta tendra un 6 por ciento de humedad, esto es que su condición será de saturada y superficialmente seca. El contenido de este material por m³ de concreto supóngase que es de 700 kilogramos. Ahora supóngase también que en determinado momento el material que se está recibiendo es del almacén y que por consiguiente presenta una

humedad únicamente del 2 por ciento, así mismo, que el operador de la planta sigue pesando sus materiales sin considerar este cambio.

Por principio la densidad que se tenía considerada para la arena ya ha cambiado. Esto quiere decir, que si se está adicionando 700 kilogramos de material, únicamente 658 serán de arena y los 42 restantes correspondían al agua de humedad.

Al cambiar la humedad a un 2 por ciento. Se estará adicionando 686 kilogramos de arena, esto es, 28 kilogramos más y únicamente 14 litros de agua, por lo que nuestra mezcla adolecerá de un faltante de 28 litros de agua, lo cual reducirá su revenimiento prácticamente a cero y se ha dado el caso en donde la unidad motomezcladora, que está recibiendo los materiales en seco para formar la mezcla, una vez que están en su interior se forza a tal grado que sufre graves averías mecánicas.

Otro caso donde es notorio lo que puede variar el volumen de material medido por peso al variar su grado de humedad, se tiene en la fabricación de concretos ligeros, donde se utilizan arenas naturales de tepetate (cenizas volcánicas), que presentan absorciones del 50 por ciento. Supóngase que este material, que se encuentra por lo general saturado, se usa conforme llega del banco; terminada la producción se almacena en la propia planta y en un par de meses después se pretende utilizar con el mismo proporcionamiento, no obstante que ya se ha secado. Es claro que las características resultantes de la mezcla, tanto físicas como mecánicas serán total

mente diferentes a lo deseado.

- 4.- Granulometría.- Por granulometría o composición granulométrica de los agregados, se entiende la característica que resulta de la distribución de tamaños de las partículas que la atribuyen. Esta adecuada distribución tiene por objeto, proporcionar a las mezclas en estado fresco una adecuada trabajabilidad, así mismo, conseguir el porcentaje óptimo de las diferentes fracciones que constituirán la mezcla, lo que permitirá formar una estructura en donde los diferentes tamaños de las partículas ocupan las oquedades que han dejado las inmediatamente mayores, y por lo consiguiente la lechada o pasta de cemento únicamente sirva para pegarlos entre sí, lográndose de esta manera un aprovechamiento máximo del cemento.

La forma en que se determina esta composición granulométrica, es haciendo pasar el material a través de mallas de diferentes aberturas, el cual se va reteniendo y separando de ellas. A esta operación se le denomina análisis granulométrico y permite como ya se dijo, conocer las granulometrías en la grava y la arena.

La práctica adoptada en nuestro país, consiste en emplear para el agregado fino la serie de mallas U.S. Standard, cuyas denominaciones y aberturas libres en milímetros, son:

DENOMINACION	ABERTURA EN mm
No. 8	2.380
No. 16	1.190
No. 30	0.595
No. 50	0.297
No. 100	0.149
Charola.	

Una vez conocidas las fracciones retenidas en las diferentes mallas, es usual obtener un índice llamado módulo de finura, que equivale a la suma de los porcentajes acumulados en cada una de las cinco mallas, dividido entre 100. De acuerdo con su módulo de finura las arenas suelen -- clasificarse como sigue:

MODULO DE FINURA		CLASIFICACION
Menos de	2.0	Muy fina
2.0	2.3	Fina
2.3	2.6	Media fina
2.6	2.9	Media
2.9	3.2	Media gruesa
3.2	3.5	Gruesa
Más de	3.5	Muy gruesa

Se aceptan para elaborar concretos, las arenas cuyo módulo de finura es te empleado entre 2.3 y 3.2, ya que el empleo de arenas muy gruesas o - muy finas no es recomendable.

En el caso de la grava se determina igualmente su granulometría -- por medio de mallas cuyos tamaños normalmente empleados son los siguientes:

DENOMINACION	ABERTURA EN mm.
No. 4	4.76
3/8"	9.51
1/2"	12.70
3/4"	19.00
1"	38.00
2"	50.80

Para la grava también puede calcularse su módulo de finura. No obstante en la práctica es poco usado.

La tolerancia para los diferentes tamaños máximos de agregados se encuentran en la tabla 2 ASTM-C-33.

En este mismo inciso, y aunque generalmente se considera por separado, resulta conveniente establecer la forma de obtención del material, esto es, si el material es triturado o si es natural.

Específicamente en el caso del agregado fino, es una buena práctica rechazar el material triturado. En el caso del agregado grueso existen algunos tipos de rocas, que al triturarlas adquieren forma plana y angulosa, lo cual reduce notablemente la trabajabilidad -- del concreto.

El control de calidad debido a la granulometría de los agregados - en el D.F., generalmente es variable, debido tanto a variaciones - en el banco, como al hecho de que las cribas en las minas se gas-- tan ya que durante la época de lluvia, cuando el material se encuentra sobresaturado, emplean mallas de mayor abertura para no redu-- cir su producción. Es muy conveniente llevar cartas de control en las que se indique los porcentajes retenidos en cada una de las mallas, así como la contaminación de arena en grava o de grava en -- arena lo que permitirá determinar alguna tendencia, en el momento en que ésta se empiece a presentar.

Como es sabido en el diseño de las mezclas de concreto, se encuentra una relación grava-arena óptima para los diferentes agregados. Por ejemplo, para agregados andesíticos esta proporción es del orden de un 60 por ciento de grava y un 40 por ciento de arena. Es - comun como se dijo anteriormente, que tanto la grava contenga cierta cantidad de arena, como que la arena contenga grava. Esto conduce, de no hacer corrección alguna, a que la mezcla de ambos materiales en el concreto resulte una proporción diferente a la deseada.- Es una buena práctica contar con un número suficiente de tablas de proporción diferente a la deseada. Es muy buena práctica contar -- con el número suficiente de tablas de proporcionamiento, que corrija estas contaminaciones y que permitan mantener la relación grava -arena deseada.

- 5.- Existen, para determinar las propiedades de los agregados, algunas pruebas físicas como son: Sanidad D.G.N. C-75 y ASTM C-88, materiaria

les muy finos, D.G.N. C-84 y ASTM C-117, partículas suaves, desmenuzables y ligeras D.G.N. C-71 y ASTM C-142, y resistencia a la abrasión ASTM C-535. Debido a que la intención de este trabajo es dar una idea sobre los controles que hay que implantar para garantizar el nivel de calidad del concreto en un proceso de producción a nivel industrial y que pruebas químicas se efectúen generalmente para conocer en un principio las características de los materiales y saber si son o no aptos para elaborar mezclas de concreto, únicamente se mencionan. No obstante es claro que si en un momento dado se debe empezar a utilizar un material que se desconoce, habrá de practicársele todas las pruebas necesarias.

2.2.3 MANEJO DE LOS MATERIALES

El acondicionamiento y manejo de los materiales para concreto, consta de una serie de operaciones necesarias para hacerlos llegar en condiciones satisfactorias hasta el punto mismo en que deben medirse las cantidades previstas para integrar la mezcla de concreto fresco.

Ya que en la producción de concreto a nivel industrial, la calidad de éste debe ser constante y adecuada, inmediatamente de la magnitud o importancia de las obras en las que se entregue, la forma como se acondicionan y manejan los materiales deberá ser conforme a procedimientos adecuados, y con las debidas adaptaciones tanto de equipo como instalaciones.

2.2.3.1 CEMENTO.- Desde el punto de vista del control en la obra, el cemento es un concepto acerca del cual podemos hacer muy poco; sin embargo, el cemento puede ser un factor importante en la variabilidad de la resistencia del concreto a edades menores de un año, y puede afectar otras propiedades, tales como la resistencia a la abrasión y al in temperismo. Aún el cemento del mismo molino ha mostrado más variación de la que se esperaría de un manufacturado bajo control técnico. En -- obras importantes se han logrado mejoras benéficas en la uniformidad -- del cemento, mezclado, antes de su empleo, cementos obtenidos de varias fuentes, aún cuando la mayor parte de las obras tienen que emplear el cemento tal como llega del molino.

De las principales prácticas seguidas para el empleo de cemento en sacos, se enuncian las siguientes:

- a).- Disponer de una bodega cerrada que aisle al cemento de la humedad ambiental exterior y con dimensiones tales que permita el almacenamiento del volumen requerido sin formar pilas con una altura de más de 20 sacos.
- b).- Que se tenga un piso de madera con ventilación inferior,
- c).- Que el techo sea impermeable, si es de lámina, tenga una inclinación suficiente para prevenir la caída de gotas por condensación de humedad interior.
- d).- El almacenamiento de los sacos debe efectuarse de modo tal que --

permita el uso del cemento en orden cronológico de llegada.

- e).- Las pilas de sacos no deben quedar en contacto con las paredes de la bodega y cuando consten de más de 10 sacos, se deben colocar - alternados para facilitar su estabilidad.
- f).- Los sacos que se rompen durante el manejo deben separarse. Este - cemento, y cualquier otro que se encuentre limpio, debe utilizarse con la debida reserva.

La otra posibilidad a la vez que la más práctica, es recibir el cemento a granel. Esto puede hacerse de diferentes formas, ya sea en furgones de ferrocarril, o camiones acondicionados para transportar el cemento con tolvas de descarga, siempre y cuando se cuente con dispositivos que transportarán a éste a la tolva de la planta, por medio de gusanos o serpentines, y de esta tolva a su vez se eleve y descargue en los silos utilizando elevadores de canchales, o bien por medio de camiones (pipas de cemento) que cuenten con equipo neumático, esto es, - que eleven el cemento por medio de aire.

Ahora que se dispone de silos portátiles, el cemento a granel es preferible al cemento en bolsas, por las siguientes razones:

- a).- Es mas barato.
- b).- No requiere personal para descargar el cemento como en el caso de las bolsas.
- c).- Se evita el desperdicio por rotura de bolsas.

- d).- Se reduce el riesgo de deterioro durante el almacenaje, ya que -- los silos deben de ser impermeables y la condensación interna se reduce al mínimo.
- e).- Los silos permiten que el cemento se utilice en el orden en que -- se recibe.
- f).- La revolvedora puede usarse a toda su capacidad.

En el cemento que ha sido almacenado en silos durante unos seis meses o más, se puede haber formado una delgada costra superficial (de aproximadamente 5 cm) y, conforme baja el nivel del cemento por el uso, se debe tener cuidado de que esta costra no se utilice en el concreto.

Otro inconveniente es cuando el cemento llega demasiado caliente a la planta y debe emplearse en ese momento, seguramente en el concreto resultante habrá problemas de aceleración en el fraguado, así como pérdida en el revenimiento, debido a esto, es muy importante que en una -- planta dosificadora de concreto se lleve un registro de temperaturas -- del cemento, conforme se recibe, a fin de disponer de datos que permitan tomar las medidas necesarias,

2.2.3.2 AGREGADOS.- Obtener los agregados en condiciones adecuadas para su utilización siempre requiere de un proceso de acondicionamiento y manejo, cuya amplitud depende de la procedencia de los materiales y volúmenes manejados.

Cuando los agregados son de origen natural, el proceso más amplio suele consistir en la explotación del banco o depósito, transporte de ma-

terial explotado, lavado y clasificación por tamaños, trituración de tamaños sobrantes o en exceso, beneficio del material clasificado, almacenamiento y transporte de los distintos tamaños clasificados.

Esto es importante por la forma de las partículas que se van a obtener, empleando diferentes equipos durante las distintas etapas del proceso de reducción.

Como se sabe, las formas más convenientes en los agregados manufacturados son: equidimensionales, ya que para obtener una misma manejabilidad, se emplean menores contenidos de agua y por consecuencia de cemento, que el caso de utilizar agregado grueso con aristas vivas y/o forma laminar; así como agregado fino con vértices agudos.

Es por esto que se debe tomar en cuenta desde la naturaleza de las rocas, en cuanto a la forma que van a adoptar al ser trituradas, de acuerdo con la estructura cristalina de sus materiales y la presencia de planos débiles producidos por esfuerzos residuales. Por ejemplo, hay algunas rocas ígneas de estructura fanerítica (como el granito y la riolita) que al fracturarse tienden naturalmente a formar fragmentos regulares y, en cambio, otras de textura afanítica (como el basalto) que tienden a fragmentos angulosos.

El objetivo que se persigue al procesar los agregados es proporcionar un producto o productos terminados que sean uniformes, libres de materiales objetables, limpios y de calidad satisfactoria. Muchos depósitos de arena y grava están limpios en forma natural, bien graduados, y de

tal calidad que no requieren proceso, Sin embargo, tal material no puede removerse, transportarse, manejarse, apilarse y ser introducido dentro de la mezcladora sin poner en peligro la uniformidad de la dosificación. La segregación que ocurre al pretender usar materiales del banco en su estado natural, destruirá cualquier esfuerzo para obtener uniformidad de revoltura a revoltura y de día a día. Es por lo tanto necesario, aún para los materiales del banco aceptables en otras condiciones separar el material en fracciones de tamaño individuales suficientemente iguales para que no ocurra una segregación objetable.

Para este efecto, tanto el transporte como el almacenamiento y manejo de los agregados, deben garantizar que estos lleguen al equipo dosificador como salen del equipo clasificador. A continuación se presentan algunas medidas básicas para lograrlo.

- a).- De preferencia debe cargarse el material en las plantas de agregados, directamente de las tolvas, ya que en los almacenes se presenta usualmente clasificación y contaminaciones.
- b).- Los almacenes de las plantas dosificadoras deben estar sobre terreno plano o previamente nivelado con pendientes que permita drenar el agua al escurrir de los agregados, colocando una plantilla de concreto pobre o de suelo cemento, o bien una capa perdida de agregado, en contacto con el terreno, no menor de 30 cm de espesor. Cualquiera de estas medidas será eficaz para evitar la contaminación del agregado con el terreno natural.

- c).- Construir pilas de almacenamiento mediante capas horizontales formadas por pequeños y muy cercanos montículos correspondientes a los diferentes volúmenes depositados en cada viaje por el equipo de transporte. Cada capa sucesiva debe reducirse en extensión, a fin de formar una pila con superficie perimetral escalonada. Por este medio deben evitarse taludes extensos por donde puedan rodar las partículas y clasificarse.
- d).- No interponer fronteras entre dos almacenamientos continuos, separándolos o interponiendo un muro o una mampara.
- e).- Evitar el tránsito de vehículos pesados sobre los agregados, porque pueden provocar rompimiento de partículas y contaminaciones, especialmente el equipo con bandas tipo orugas.
- f).- Si la arena se encuentra seca, evitar que el viento la disperse durante el almacenamiento, lo cual puede evitarse reduciendo la altura de caída, o colocando un embudo a la descarga.
- g).- Si la arena se almacena sobresaturada, lo cual es muy común en el caso de las arenas lavadas o de río, debe drenarse un mínimo de 48 horas antes de su empleo para que se uniformice su contenido de humedad.
- h).- Para llenar las tolvas, el agregado debe caer en el centro de las mismas, siendo éstas de sección horizontal reducida y paredes de fondo con inclinación no menores de 50 grados con la horizontal.-

La compuerta de descarga debe quedar centrada en el propio fondo.

- 1).- En descargas de agregado grueso, evitar la caída libre que provoque el rompimiento de partículas. Para este objeto se emplean dispositivos como la escalera de agregados.

2.2.3.3 AGUA.- Son dos razones existentes para usar agua en el concreto; la primera, debido a que es necesaria para que reaccione con el cemento, de manera que el concreto endurezca; y la segunda, para que sirva de lubricación al concreto fresco haciéndolo plástico y manuable.

Se requiere de un poco más de un cuarto de libra de agua para hidratar una libra de cemento. Expresado en otra forma una relación agua-cemento de aproximadamente 0.25, proporcionará la cantidad suficiente de líquido para que reaccione con el cemento. El concreto con esa cantidad tan baja de agua, sin embargo, no sería manejable y no podría colocarse, por lo que hay que poner más líquido para hacerlo manejable. Esto requiere de una relación agua-cemento de entre 0.40 y 0.60 para un concreto estructural normal, obteniéndose una cantidad de agua en 0.76 metros cúbicos, de concreto entre 102 y 159 kg, dependiendo de la cantidad exacta del revenimiento, de los materiales, de las condiciones del tiempo y de las proporciones de la mezcla.

Para el abastecimiento del agua debe disponerse de tanques de almacenamiento que regulen el suministro y permitan en algunos casos, la sedimentación de elementos en suspensión y eliminación de cuerpos flotantes. Es necesaria la limpieza periódica de estos tanques, tanto para -

eliminar el material depositado, como para evitar la reproducción de - organismos vegetales acuáticos (algas), ya que se ha observado que la introducción de estos organismos en las mezclas de concreto, produce - gases y reduce la resistencia.

Para la selección del agua de mezclado, se recomiendan los siguientes puntos:

- a).- Cuando se desee utilizar agua, de la cual no se conoce su comportamiento, será necesario someterla a ensayos previos.
- b).- Normalmente el agua potable de las ciudades es aceptable para ser utilizada en el concreto, a excepción de aquellos casos en que -- contenga gran cantidad de cloro (más de 500 p.p.m.), ya que propiciará la corrosión excesiva del acero de refuerzo y preesfuerzo, quedando por lo tanto, excluida.
- c).- El agua que no contenga sabor salado ni olor, será adecuada para fabricar concreto, aunque se pueda aceptar agua turbia, siempre y cuando no exceda de 2 000 p.p.m. Esta recomendación es válida tam bién para sólidos en suspensión.
- d).- Las aguas negras y de desperdicios industriales, son perjudiciales al concreto, ya que contienen materias orgánicas, aceite, aci do orgánico e inorgánico, sustancias alcalinas, materias en sus-- pensión que son perjudiciales, ya que reducen substancialmente la resistencia a la compresión del concreto. Además de algunos defec tos dañinos secundarios.

e).- El agua de mar que contenga menos de 35 000 p.p.m. de sales, será adecuada para ser utilizada en la fabricación de concreto simple. Este tipo de agua hace variar el comportamiento normal del concreto, ya que produce alta resistencia a la compresión a edades iniciales; aunque un pequeño detrimento de está a edades finales. En cuanto al concreto reforzado es posible utilizarse después de una adecuada evaluación de las condiciones de trabajo de la estructura, así como de las características de permeabilidad y recubrimiento del concreto.

2.2.3.4 ADITIVOS.- Un aditivo se define en la designación ASTM C-125 - como: un material diferente del agua, agregados y cemento Portland, incluyendo cemento Portland con inductor de aire y cemento portland de - escorias de altos hornos, que se usa como ingrediente del concreto y - se agrega a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.

Los aditivos pueden usarse para los siguientes fines:

- 1.- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
- 2.- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- 3.- Aumentar la resistencia.
- 4.- Retardar o acelerar el fraguado inicial.
- 5.- Retardar o reducir el desarrollo de calor.
- 6.- Reducir el sangrado.
- 7.- Aumentar la durabilidad o la resistencia en condiciones severas - de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.

- 8.- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- 9.- Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- 10.- Mejorar la penetración y el bombeo.
- 11.- Aumentar la adherencia del concreto al acero.
- 12.- Aumenta la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- 13.- Reducir el costo Unitario del concreto.

Estos son algunos de las múltiples ventajas que se consiguen con el uso de aditivos en el concreto hidráulico. Existe información detallada en el reporte sobre aditivos del Instituto Americano del Concreto (ACI), comité 212, Existe una clasificación de aditivos químicos en términos de su función, en las Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Tipo A.- Aditivos reductores de agua. Son los que permiten:

- 1) Incrementar la resistencia al reducir la relación agua-cemento, conservando la consistencia.
- 2) Aumentar la trabajabilidad para la resistencia dada.

Tipo B.- Aditivos acelerantes de fraguado. Son los que aceleran el fraguado y permiten obtener mayor resistencia a corta edad del concreto.

Tipo C.- Aditivos acelerantes de fraguado. Son los que aceleran el fraguado y permiten obtener mayor resistencia a corta edad del concreto.

Tipo D.- Aditivos reductores de agua y retardantes de fraguado. Son los que proporcionan efectos combinados de los tipos A y B.

Tipo E.- Aditivos reductores de agua y acelerantes de fraguado. Son los que proporcionan efectos combinados de los tipos A y C.

En lo referente al manejo de los aditivos, se considera que en éstos se deben extremar tanto las precauciones de almacenamiento, transporte, descarga, identificación, mantenimiento en condiciones óptimas de calidad, como en la precisión de los equipos dosificadores, ya que como se mencionó, los malos efectos que se produzcan al variar proporcionamientos o a confundir uno con otros, pueden ser irremediables.

La preparación de cualquier aditivo previamente a su introducción en la mezcla del concreto debe atenderse a las recomendaciones del fabricante, así como a los procedimientos establecidos y aceptados. Muchos de los aditivos que se utilizan son líquidos, pero los hay en polvo, como algunos acelerantes y materiales finamente divididos, como las puzolanas.

Los aditivos líquidos se suministran listos para usarse, y pueden venir en concentraciones mayores que las que se preparan en planta, y es así en una nueva concentración que se dosifica a la mezcla. En algunas ocasiones es importante que esta solución se mantenga en agitación para evitar sedimentación del producto.

La adición del aditivo así como su velocidad de descarga con respecto

a los demás materiales constitutivos de la mezcla es crítica. La cantidad total de aditivos debe ser añadida antes de que concluya la adición del agua de mezclado.

Se ha visto que para algunas combinaciones de aditivo-cemento, variar el momento en que se añaden durante el mezclado puede afectar en diversos grados el retardo o aceleración, o bien cambiar en forma apreciable el requerimiento de agua en la mezcla.

Los materiales líquidos que se producen en una mezcla de concreto, generalmente caen bajo las siguientes categorías: Aditivos inclusores de aire, aditivos reductores de agua y/o retardantes, y/o acelerantes.

Puede existir incompatibilidad de dos o más aditivos en la misma solución, por lo tanto, se recomienda que se adicionen por separado y en diferentes momentos de la mezcla.

En cuanto al almacenamiento, estos aditivos pueden congelarse o precipitarse a bajas temperaturas, pudiéndose por congelamiento dañarse permanentemente algunos de ellos. Deben respetarse las indicaciones del fabricante al respecto.

Aditivos en polvo y minerales finalmente divididos.

De los aditivos en polvo, se tienen: algunos inclusores de aire, acelerantes, colorantes, reductores de agua o fluidizantes, etc. Con ellos pueden prepararse soluciones las cuales es conveniente que se hagan a altas concentraciones, ya que se dificulta el mezclado y se propicia la

sedimentación, requiriéndose equipo de agitación constante.

Para su dosificación puede también mezclarse a estos con el cemento o los agregados, siempre y cuando se conozca las indicaciones al respecto, de los fabricantes.

Estos en general tienen una vida indefinida, no obstante, existen algunos acelerantes, que deben protegerse de manera extrema contra la humedad, ya que tienen una capacidad asombrosa de concentrar la humedad -- ambiental y absorverla.

Los aditivos minerales finamente divididos, deben protegerse de la humedad y de la contaminación, almacenándose en estructuras impermeables, ya sea en tolvas, silos, etc. Generalmente su manejo, es similar al -- del cemento Portland, esto es, que se utiliza equipo transportador neumático, serpentines o gusanos, elevadores de cangilones, bandas y bombas neumáticas.

En cuanto a la adición de estos en la mezcla, deben introducirse junto con el cemento, agregados y agua, ya que si se cargan antes que los demás componentes, pueden pegarse a las paredes de la revolvedora. Tampoco es conveniente adicionarlos juntos con el agua, ya que tienden a -- formar grumos, así mismo si se agregan al final, cuando la mezcla ya -- esta formada, difícilmente podrán distribuirse de manera uniforme.

III.- VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO

3.1 VERIFICACION POR MEDIO DE CILINDROS ESTANDAR DE CONCRETO

El concreto endurecido es considerado como un material frágil con buena aptitud para resistir esfuerzos de compresión y escasa capacidad para soportar los de tensión y cortante.

De acuerdo con los tres tipos básicos de esfuerzos, la resistencia del concreto se determina por compresión, tensión y cortante. La resistencia a la compresión es fácil de medir en el laboratorio, sometiendo especímenes a cargas axiales de compresión hasta su ruptura. La resistencia a la tensión, es posible determinarla ensayando piezas a cargas -- axiales de tensión, pero ya que ésto es poco práctico, se prefiere el empleo de métodos indirectos como son: la prueba Brasileña y el ensaye de vigas a la flexión, En relación al esfuerzo cortante, éste se presenta en las estructuras combinado con otro (tensión o compresión), la medición de la resistencia al cortante no es una práctica común.

Generalmente la determinación de resistencia mecánica es el medio más frecuente para estimar la calidad del concreto. Esto se deriva principalmente de las siguientes circunstancias: el valor de la resistencia mecánica suele determinar, o por lo menos, influir en la capacidad de carga de las estructuras de concreto; es la prueba más sencilla, rápida y de resultados más reproducibles, entre las que pueden efectuarse

al concreto endurecido.

Existen esperiencias que correlacionan los resultados de pruebas de re sistencia mecánica con los de otras más complicadas.

Resistencia a compresión.- En la mayoría de los casos, el concreto en las estructuras se destina a trabajar bajo esfuerzos de compresión. De ahí que ésta se considere como el principal índice de la calidad del concreto, y por lo tanto, la que con más frecuencia se determina.

La resistencia a compresión del concreto se determina sobre especímenes de prueba representativos. Para que esta condición se cumpla, es necesario seguir los procedimientos de muestreo y elaboración de cilindros especificados, ver: D.G.N. 161 "Muestreo de Concreto Fresco", y D.G.N. 160 "Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto".

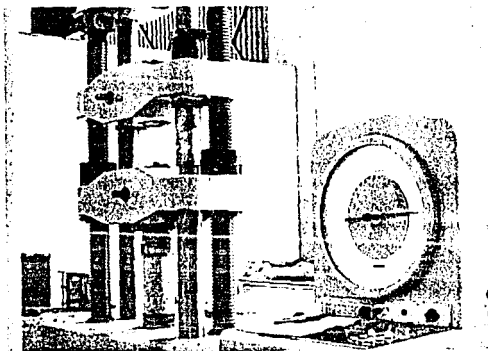
Cuando se desea verificar la resistencia a la compresión del concreto, es necesario que las muestras se elaboren, curen y ensayen en condiciones invariables, ya que de no ser así, los resultados serán seguramente función de las diferentes condiciones en las que se maneje el concreto y no consecuencia única de sus características propias,

Es practica muy usual que se empleen piezas cilíndricas con altura -- igual al doble del diámetro.

El ensaye consiste en someter los especímenes al cabo de un cierto -- tiempo de elaborados, según las especificaciones de proyecto, a una --

carga creciente que produzca esfuerzos de compresión en toda la sección transversal, hasta su ruptura. El cociente resultante de dividir la carga total entre el área de aplicación, corresponde a la resistencia a la compresión de un concreto dado.

Es importante saber que esta resistencia mecánica, puede variar de acuerdo a numerosos factores: energía de moldeo, humedad y temperatura de curado, edad de prueba, dimensiones del espécimen, condiciones y velocidad de aplicación de carga.



Cilindro de concreto hidráulico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, en la máquina Universal para el ensaye de resistencia a la compresión simple.

- a).- Energía de moldeo.- La energía de moldeo durante la elaboración de los especímenes debe ser suficiente para alcanzar su completa compactación. Esta es primordialmente importante para aquellos concretos de revenimiento menores de 7,5 cm., ya que de no lograr se esta total compactación, la resistencia a la compresión se verá reducida.
- b).- Humedad y Temperatura.- Durante las 24 horas después del moldeo, todos los especímenes de prueba deben almacenarse bajo condiciones que mantengan la temperatura adyacente a los especímenes, en el intervalo de 16 a 27°C y prevenir pérdidas de humedad. Deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 horas después del moldeo, permitiéndose un margen de entre 16 y 48 horas y almacenar de inmediato en una condición húmeda, a la temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el momento de la prueba.
- El tratamiento de curado húmedo de los especímenes descimbrados significa que los especímenes de prueba tienen agua libre, sobre toda la superficie, en todo momento. Esta condición se cumple por inmersión en agua saturada de cal a la temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, o con almacenamiento en un cuarto o gabinete húmedo, cuya humedad relativa sea del 95 al 100 por ciento y su temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Los especímenes no deben exponerse al goteo o corrientes de agua.
- D.G.N. C-160,
- c).- Edad de prueba.- Los cilindros normalmente se ensayan a edades iniciales 3 y 7 días, con el fin de determinar sus características

potenciales de resistencia, ya que existe la forma confiable de inferir los valores de resistencia a edades de diseño; esto es 14 días para concretos de resistencia rápida y 28 días para concretos de resistencia normal; es importante anotar que para concretos elaborados con cemento puzolánico, de escorias de altos hornos y en algunos casos tipo V, los incrementos de resistencia son más tardíos, situación por la cual a 28 días han alcanzado un porcentaje relativamente bajo de la misma, y es conveniente determinar su resistencia a 60 y aún a 90 días.

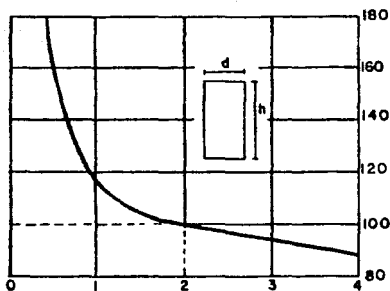
- d).- Dimensiones de los especímenes.- La relación de esbeltez, esto es entre altura y diámetro, ejerce una notable influencia en los resultados a compresión del concreto. Es práctica estándar en nuestro medio utilizar una altura del doble con respecto al diámetro. A continuación se muestra gráficamente la influencia de la relación de esbeltez (h/d) en la resistencia a compresión de cilindros de concreto. Fig. No. 1, para evitar la influencia perjudicial de partículas demasiado grandes sobre el valor de la resistencia obtenida, se especifica que el diámetro de los especímenes cilíndricos no sea menor de tres veces al tamaño máximo del agregado, aunque puede ser mayor, lo cual generalmente ocurre al emplear molinos cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

Conviene observar lo que ocurre con la resistencia cuando un mismo concreto se ensaya en especímenes cada vez mayores. El resultado se muestra en la Fig. No. 2 que indica como disminuye los resultados de resistencia a medida que aumenta el diámetro de la --

potenciales de resistencia, ya que existe la forma confiable de inferir los valores de resistencia a edades de diseño; esto es 14 días para concretos de resistencia rápida y 28 días para concretos de resistencia normal; es importante anotar que para concretos elaborados con cemento puzolánico, de escorias de altos hornos y en algunos casos tipo V, los incrementos de resistencia son más tardíos, situación por la cual a 28 días han alcanzado un porcentaje relativamente bajo de la misma, y es conveniente determinar su resistencia a 60 y aún a 90 días.

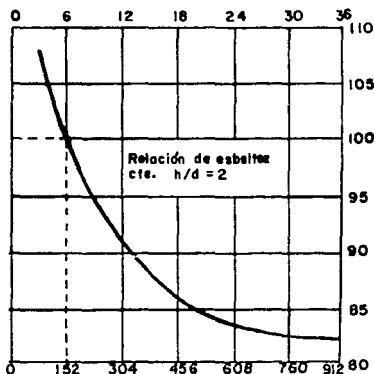
- d).- Dimensiones de los especímenes.- La relación de esbeltez, esto es entre altura y diámetro, ejerce una notable influencia en los resultados a compresión del concreto. Es práctica estándar en nuestro medio utilizar una altura del doble con respecto al diámetro. A continuación se muestra gráficamente la influencia de la relación de esbeltez (h/d) en la resistencia a compresión de cilindros de concreto. Fig. No. 1, para evitar la influencia perjudicial de partículas demasiado grandes sobre el valor de la resistencia obtenida, se especifica que el diámetro de los especímenes cilíndricos no sea menor de tres veces al tamaño máximo del agregado, aun que puede ser mayor, lo cual generalmente ocurre al emplear moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

Conviene observar lo que ocurre con la resistencia cuando un mismo concreto se ensaya en especímenes cada vez mayores. El resultado se muestra en la Fig. No. 2 que indica como disminuye los resultados de resistencia a medida que aumenta el diámetro de la --



Influencia de la relación de esbeltez (h/d) en la resistencia a compresión de cilindros de concreto.

fig. No. 1



Influencia del diámetro en la resistencia a compresión de cilindros de concreto.

fig. No. 2

Porcentaje de la resistencia observada en un cilindro con $h/d = 2$.

Porcentaje de la resistencia observada en un cilindro estándar de 152 x 304 mm.

muestra. Ahora bien en sentido inverso, al disminuir el diámetro aumenta la resistencia, pero para ello se tiene una mayor dispersión de valores, esta es la causa por la que se prefiere mantener los cilindros de 15x30 cm.

e).- Condiciones de ensaye.- Existen varios factores durante el ensaye que influyen de manera importante en los resultados que se obtengan, principalmente son:

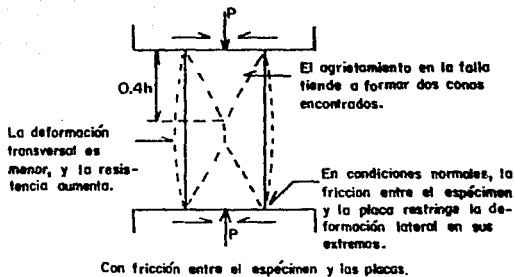
Geometría de los especímenes.- Para que ocurra una distribución uniforme de esfuerzos de compresión en toda la sección transversal del espécimen, es requisito indispensable que sus superficies extremas (cabezas) sean perfectamente planas, paralelas entre sí y normales a su generatriz, y que la carga resulte concéntrica -- con el espécimen, es decir, colineal con el eje del cilindro. Para obtener lo primero, se acostumbra cubrir las cabezas con un material que al endurecer resulte perfectamente plano y que alcance una resistencia mayor que la del concreto, normalmente se utiliza un mortero hecho a base de azufre y puzolana. Las tolerancias máximas son de 0,05mm, como irregularidad fuera del plano en una cabeza, y tres grados como ángulos permisibles entre ambas cabezas. Al respecto la máquina de ensaye debe estar provista de un dispositivo de rótula que asegure verticalidad en la carga que se transmite al espécimen, no obstante la posible falta de paralelismo entre sus cabezas; además, requiere que el eje de la muestra coincida con el dispositivo de transmisión de la carga. De no cumplir cualquiera de los requisitos anteriores, se disminuye la resisten

cia del cilindro por la concentración de esfuerzos de compresión, o bien la presencia de los de tensión en su área transversal.

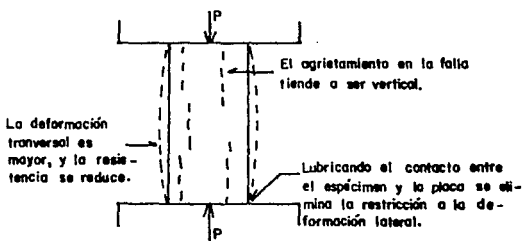
Un detalle interesante es que cuando existe fricción entre las --
platinas y el cilindro, al fallar el concreto por esfuerzos combi-
nados, se manifiesta ésto en planos de falla inclinados que tien-
den a formar dos conos concurrentes en sus vértices, cuya altura
aproximada es $0.4 h$, siendo h la del espécimen.

Ahora bien, cuando intencionalmente se interpone un lubricante en-
tre las cabezas de la pieza de prueba y las platinas, el concreto
se deforma lateralmente con libertad y sin esfuerzos de corte; en
este caso la falla del espécimen ocurre según planos aproximada--
mente verticales (Figura No. 3).

f).- Velocidad de carga.- La rapidez con que se incrementan los esfuer-
zos sobre un espécimen de concreto, influye notablemente en el va-
lor que alcanza la carga de ruptura, pues ésta aumenta a medida -
que la velocidad se incrementa. Este efecto puede atribuirse al -
hecho de que cuando disminuye la velocidad de carga, no sólo au-
menta el tiempo necesario para alcanzar cierto esfuerzo, sino tam-
bién la deformación del concreto debido al flujo plástico. De es-
te modo, al llegar a un mismo nivel de esfuerzos, la deformación
del concreto puede diferir de un caso a otro, dependiendo de la
rapidez con que se hayan sucedido los incrementos de carga; en --
consecuencia, la deformación total que produce la falla del con-
creto ocurre bajo distinto valor de esfuerzo, dependiendo del --



Influencia de las condiciones de contacto sobre la resistencia a compresión de especímenes de concreto.



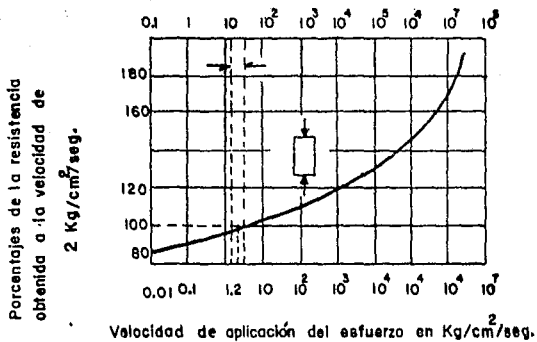
Influencia de las condiciones de contacto sobre la resistencia a compresión de especímenes de concreto.

fig. No. 3

tiempo tomado para aplicar la carga. Por tal motivo, para comparar resistencias de especímenes, aún siendo idénticos, es indispensable reglamentar la velocidad con que se les aplica carga. - Las especificaciones A.S.T.M. establecen como estándar la comprendida entre 1.4 a 3.5 kg/cm²/seg., que para el caso de los cilindros de 15x30 cm equivale a una velocidad de 15 a 38 ton/mín. En la fig. No. 4 se representa la tendencia del incremento de resistencia con el de rapidez de carga. Se señala el intervalo de velocidad que corresponde a la prueba de cilindros estándar.

Contenido de Humedad,- Es un factor que desempeña un papel importante en la resistencia a la compresión, ya que a menor humedad se obtienen mayores resistencias para un concreto dado. Este fenómeno se le puede considerar a la estructura del gel del cemento, cuya característica principal es un desarrollo de superficie interna.

El agua contenida en el concreto puede dividirse en no evaporable, esto es, la combinada químicamente con el cemento y la evaporable, absorbida por los geles de cemento y absorbida por los conductos capilares, siendo esta última la que define su estado de humedad. La absorbida por el gel de cemento (cuyos poros son de dimensiones submicroscópicas), puede imaginarse como una capa de moléculas de agua adheridas en toda su superficie interna. Debido a las fuerzas de atracción (fuerzas de Van Der Waals), las moléculas de agua absorbidas tienden a ser retenidas en la superficie y no evaporan con facilidad. A medida que el ambiente es más propicio a la deshidratación (condiciones de secado) - las fuerzas de atracción tienden a ser separadas y esto genera fuerzas



Influencia de la velocidad de aplicación de esfuerzos en la resistencia del concreto.

fig. No. 4

en la estructura de la pasta de cemento que le producen contracción al aumentar la cohesión, favoreciendo la resistencia. Por lo contrario, - al incrementarse el contenido de agua en el concreto (por saturación), se genera cierta presión hidrostática en el interior de los geles de - cemento, que conduce a fuerzas que provocan expansión de la pasta, la cual, por ser adversa a la cohesión del material, hace que la resistencia disminuya. El fenómeno descrito es reversible, de tal modo que la resistencia puede incrementarse o reducirse conforme varía en un sentido o en otro, el contenido de humedad.

Se especifica ensayar los especímenes al mismo grado de humedad que alcanzan durante su curado, bajo condiciones estándar. Por consiguiente, el ensaye se debe llevar a cabo en cuanto las muestras se retiren de - la cámara de curado.

A continuación se comenta brevemente los métodos indirectos para la de terminación de la resistencia a la tensión:

Prueba Brasileña.- En esta 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 au menta la carga hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical.

Prueba a la flexión.- Se coloca la viga sobre unos bloques de apoyo; - se ponen en contacto con la superficie superior de la viga los bloques de aplicación de carga en los tercios del claro; después se aplica la

carga rápidamente hasta alcanzar el 50% de la carga de ruptura y luego se reduce de tal manera que el aumento de esfuerzo en la fibra extrema no exceda de 10 kg/cm²,

3.3.1 ANALISIS ESTADISTICO.

Como se mencionó en el inciso anterior la resistencia a la compresión en el concreto es su principal índice de calidad. Existen técnicas estadísticas para evaluar los resultados de las pruebas del concreto, según la información que se desea obtener; en este capítulo se expondrá uno de los procedimientos estadísticos que nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia, y la información que se deriva de ellos, que también sirve para reafirmar los criterios y las especificaciones del diseño.

Era común en el pasado, suponer que la resistencia a compresión solicitada para un concreto, debería invariablemente alcanzarse. Esto implica el "no permitir" que se presentarán valores de resistencia por debajo de los especificados. Es más, probablemente se pensó que no únicamente deberían ser mayores, sino iguales. De tal suerte que si se diseñaba y elaboraba correctamente una mezcla de concreto, controlando al máximo sus ingredientes y su producción, debería dar exactamente la resistencia calculada.

Por otra parte, siempre que un cilindro de prueba de aceptación indicaba que la resistencia era menor a la requerida, era común evadir la cuestión diciendo que la muestra o espécimen no estaba bien hecho y lo -

dejaban de esa manera; o en otros casos, se culpaba al productor y se le pedía que obtuviera corazones de la estructura para probar que era resistente, o hacer una prueba de carga y en algunos casos se le exigía aún que demoliera el concreto y lo reemplazara, cuando en realidad, el bajo resultado podría haber sido una indicación perfectamente normal y justificada, de las variaciones de nuestro universo, y además, este valor de resistencia ser perfectamente compatible con los permisibles para el criterio de diseño de la estructura y por tanto, de sus coeficientes de seguridad o sobrediseño.

Esto como es de suponer, situaba al productor de concreto en una posición sumamente difícil, ya que requería fabricar un concreto sobre -- excedido de resistencia y por tanto antieconómico.

Es fácil de imaginar que si no podía controlar el sobrediseño en su resistencia, más difícil debió haber sido estimar y evaluar la dispersión en los valores.

Se ha estimado que existen hasta 60 variables que influyen en la resistencia del concreto, de donde se deduce que en el 50 por ciento de las pruebas se obtienen resistencias inferiores a la mediana. Se puede confiar en producir concreto de calidad adecuada si se mantiene el debido control y se interpretan correctamente los resultados de las pruebas y se consideran sus limitaciones.

El análisis de numerosos resultados de pruebas en una gran variedad de proyectos hace ver que la resistencia del concreto se ajusta a determi

nada pauta de la curva de frecuencia de distribución normal (forma -- acampanada). Esta distribución es simétrica respecto al promedio, quedando la mayoría de las pruebas cerca del promedio.

Aunque los conceptos estadísticos para especificar la resistencia del concreto fueron introducidos en 1957, todavía existe confusión con respecto a la adopción y empleo de estas valiosas técnicas. Probablemente el factor aislado más importante de los que obstaculizan la utilización de los procedimientos estadísticos consiste en la tendencia natural a suponer que estos métodos son propios de científicos y matemáticos, quienes se expresan siempre mediante signos y símbolos extraños. Esto es una lástima, ya que hay aplicaciones sencillas y prácticas de la curva de distribución normal para evaluar la calidad del concreto, que resultan fáciles de entender y aplicar en la industria del concreto.

Es muy importante primero conocer el comportamiento del concreto, y -- una vez hecho ésto, adoptar nuestras necesidades a este comportamiento.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA

Para ejemplificar la forma en que se puede conocer la distribución de frecuencia en la resistencia a compresión en el concreto, se supone lo siguiente: una planta de concreto se encontraba en un proceso de producción a nivel industrial, elaborando concreto para un mismo tipo de elementos estructurales (pisos para una gran fábrica armadora), situación por la que las características de todo el concreto solicitado --

eran las siguientes:

Clase "A" D.G.N. C-155-75

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

tipo = normal

T.M.A. = 40 mm

Rev. = 10 cm

Por especificaciones de obra se requería determinar en cilindros estándar la resistencia de cada una de las diferentes mezclas entregadas. - Cabe aclarar que este concreto era transportado por unidades revolvedoras desde la planta hasta la obra en volúmenes del orden de 5 m^3 .

Para llevar a cabo esta verificación, se contrató a un Laboratorio de reconocido prestigio quien se encargó de efectuar el trabajo conforme a Normas Vigentes D.G.N., reportando la resistencia promedio de cada revoltura una vez que se cumplía la fecha en que debían ensayarse los cilindros, esto es, 28 días, ya que como se mencionó se trataba de concreto de resistencia normal.

Es importante anotar que esta planta de concreto contaba con un moderno equipo de medición de materiales por peso, así mismo el técnico encargado del control de calidad, vigilaba estrictamente, tanto la calidad de los materiales como la operación de la planta, haciendo las correcciones apropiadas por variaciones de las características físicas de los agregados a saber: densidad, humedad, granulometría, etc.

Al concluir la obra y por tanto el suministro, se contaba con una gran

cantidad de resultados de resistencia del concreto; por lo tanto, el laboratorio presentó su informe final basandose en especificaciones, - el cual a continuación se transcribe:

INFORME DE RESISTENCIAS DEL CONCRETO SUMINISTRADO POR CONCRETOS "X" EN LA OBRA DENOMINADA FABRICA DE MOTORES "Y".

Características del concreto:

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Concreto clase "A" D.G.N. C-155-75

tipo = Normal

VALORES DE RESISTENCIA OBTENIDOS:

Muestra	Resistencia	Muestra	Resistencia
No.	a 28 días	No.	a 28 días
1	237	16	217
2	206	17	200
3	175	18	257
4	229	19	246
5	271	20	212
6	264	21	291
7	232	22	240
8	245	23	244
9	235	24	198
10	301	25	224
11	281	26	202
12	230	27	215
13	194	28	209
14	188	29	208
15	236	30	196

Muestra No.	Resistencia a 28 días	Muestra No.	Resistencia a 28 días
31	----- 221	64	----- 283
32	----- 243	65	----- 214
33	----- 231	66	----- 210
34	----- 251	67	----- 252
35	----- 207	68	----- 233
36	----- 274	69	----- 169
37	----- 213	70	----- 199
38	----- 247	71	----- 178
39	----- 241	72	----- 226
40	----- 219	73	----- 205
41	----- 225	74	----- 170
42	----- 261	75	----- 265
43	----- 250	76	----- 239
44	----- 272	77	----- 249
45	----- 262	78	----- 258
46	----- 238	79	----- 248
47	----- 292	80	----- 259
48	----- 255	81	----- 216
49	----- 256	82	----- 282
50	----- 197	83	----- 190
51	----- 263	84	----- 179
52	----- 234	85	----- 253
53	----- 230	86	----- 267
54	----- 186	87	----- 160
55	----- 275	88	----- 211
56	----- 180	89	----- 227
57	----- 203	90	----- 189
58	----- 266	91	----- 220
59	----- 222	92	----- 218
60	----- 231	93	----- 273
61	----- 204	94	----- 242
62	----- 254	95	----- 223
63	----- 187	96	----- 228

PROMEDIO DE SIETE MUESTRAS CONSECUTIVAS

1	----	7	=	230	35	----	41	=	232
2	----	8	=	232	36	----	42	=	240
3	----	9	=	236	37	----	43	=	237
4	----	10	=	254	38	----	44	=	245
5	----	11	=	261	39	----	45	=	247
6	----	12	=	255	40	----	46	=	247
7	----	13	=	245	41	----	47	=	257
8	----	14	=	239	42	----	48	=	261
9	----	15	=	238	43	----	49	=	261
10	----	16	=	235	44	----	50	=	253
11	----	17	=	221	45	----	51	=	252
12	----	18	=	217	46	----	52	=	248
13	----	19	=	220	47	----	53	=	247
14	----	20	=	222	48	----	54	=	232
15	----	21	=	237	49	----	55	=	234
16	----	22	=	238	50	----	56	=	224
17	----	23	=	241	51	----	57	=	224
18	----	24	=	241	52	----	58	=	225
19	----	25	=	236	53	----	59	=	223
20	----	26	=	230	54	----	60	=	223
21	----	27	=	231	55	----	61	=	226
22	----	28	=	219	56	----	62	=	223
23	----	29	=	214	57	----	63	=	224
24	----	30	=	207	58	----	64	=	235
25	----	31	=	210	59	----	65	=	228
26	----	32	=	213	60	----	66	=	226
27	----	33	=	218	61	----	67	=	229
28	----	34	=	223	62	----	68	=	233
29	----	35	=	222	63	----	69	=	221
30	----	36	=	232	64	----	70	=	223
31	----	37	=	234	65	----	71	=	208
32	----	38	=	238	66	----	72	=	210
33	----	39	=	238	67	----	73	=	209
34	----	40	=	236	68	----	74	=	197

69	----	75	=	202
70	----	76	=	212
71	----	77	=	219
72	----	78	=	231
73	----	79	=	234
74	----	80	=	241
75	----	81	=	248
76	----	82	=	250
77	----	83	=	243
78	----	84	=	233
79	----	85	=	233

80	----	86	=	235
81	----	87	=	221
82	----	88	=	221
83	----	89	=	213
84	----	90	=	213
85	----	91	=	218
86	----	92	=	213
87	----	93	=	214
88	----	94	=	226
89	----	95	=	228
90	----	96	=	228

Resistencia Promedio.

$$\bar{X} = 230 \text{ kg/cm}^2$$

Desviación estándar.

$$\sigma = 31 \text{ kg/cm}^2$$

% de Valores abajo de f'c.

$$= 18 \%$$

% de Promedios de 7 muestras

$$= 1.0 \%$$

consecutivas menores a f'c.

GRAFICA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

	No. de Valores Contenidos.	
151 - 160		1
161 - 170		2
171 - 180		4
181 - 190		5
191 - 200		6
201 - 210		9
211 - 220		10
221 - 230		11
231 - 240		11
241 - 250		10
251 - 260		9
261 - 270		7
271 - 280		5
281 - 290		3
291 - 300		2
301 - 310		1

$$= 96$$

CONCLUSIONES

Nivel de Calidad

De acuerdo con el análisis estadístico realizado, el concreto entregado en la obra denominada Fábrica de Motores "Y", corresponde al nivel de calidad solicitado clase "A" D.G.N.-C-155.

Esto es el requerido para elementos estructurales diseñados por el método de esfuerzos de trabajo, en donde no más del 20 por ciento de los valores de resistencia podrán ser menores a $f'c$; el promedio de 7 pruebas de resistencia consecutivas debe ser igual o mayor que la resistencia especificada; no más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada, menos 50 kg/cm².

Clase de Control

De acuerdo al nivel de calidad del concreto requerido, se puede apreciar un excelente diseño de las mezclas, que permitió en función de una baja dispersión de valores, como consecuencia de un estricto control de calidad, una optimización de costos.

Laboratorio de Verificación de Calidad, S.A.
México, D.F., Diciembre de 1984

Las apreciaciones del Laboratorio en cuanto a la calidad de este concreto son favorables, si se aprecia que,

- Habiéndose pedido un concreto de $f'c=200$ kg/cm² únicamente una de 96 muestras obtenidas presentó ese valor.
- Existen resistencias desde 160 kg/cm² hasta 301 kg/cm², esto es un rango de 140 kg/cm² para concreto con $f'c$ de diseño de 200 kg/cm²
- El promedio fue superior a los 200 kg/cm²,
- Se obtuvo cerca del 20% de valores inferiores a $f'c$.

Por otra parte es importante analizar que todo varía, nada es constante. No obstante, dentro de lo variable se pueden conocer las leyes que rigen a estos fenómenos variables o en función de ellos; saber mucho antes de que el hecho se realice o el fenómeno se presente, cuales serán los resultados, estos, consecuentemente conocidos por su rango de variación y por la frecuencia con la que se presentarán en determinados intervalos dados.

Para ejemplificar lo anterior tomaremos un problema de azar y como estos juegos obedecen a un comportamiento probabilístico, desde el más elemental de ellos que podría ser lanzar una moneda al aire y observar al caer si presenta Aguila o Sol. Es obvio que en este caso se cuenta con la misma probabilidad de que sea una u otra; dicho en otra forma, si Aguila y Sol es la totalidad de los eventos que pueden presentarse

al realizar el experimento consistente en lanzar la moneda o sea el -- 100 por ciento cada uno de ellos en particular Aguila o Sol son el 50 por ciento. De una manera similar un "dado" presenta una probabilidad de $1/6=16.66$ por ciento de que al ser lanzado caiga una, cualesquiera de sus caras, de antemano escogida.

Por supuesto que lo anteriormente anotado no quiere decir que al realizar el experimento, los eventos se presentarán uno tras otro en riguroso orden, en otras palabras, que si al lanzar en primera instancia una moneda al aire y haber obtenido sol, el siguiente lanzamiento fatal y necesariamente obtengamos Aguila, o que si en el primer tiro de un "dado" se presentó el AS, este se presentará otra vez hasta un sexto tiro posterior. No, sino que al realizar un número de experimentos cada vez mayor, la frecuencia con la que se presentará el evento, tenderá cada vez más a la probabilidad de que se verifique. En el caso de la moneda, si se lanza al aire de manera creciente y se cuenta los Soles o Aguilas que vayan cayendo, se observa que a mayor número de lanzamientos - el porcentaje de Aguilas y Soles tenderá cada vez más al 50 por ciento.

Pues bien, así como se llegó a conocer el comportamiento o distribución de frecuencias de los juegos de azar, y el emplear el cálculo de probabilidades para hacer negocio con ellos; en el caso del comportamiento de ciertos índices de fenómenos naturales en donde intervienen una -- gran cantidad de variables, y en donde se pueden localizar algunos como: El comportamiento o distribución de frecuencias del índice de coeficiente intelectual de los habitantes de una población, el índice o parámetro de estatura de los habitantes en edad adulta de una población,

la forma en que varía la cantidad de lluvia anual medida en pluvióme--
tros durante un número importante de años en determinada zona hidrográ
fica, el comportamiento del parámetro duración en horas de un lote de
focos. Se encuentra el comportamiento o forma en que varía la resisten
cia a la compresión en el concreto, este comportamiento corresponde a
una distribución de frecuencias NORMAL, cuyo modelo matemático es la -
Campana de Gauss.

Volviendo a nuestro ejemplo (informe de resistencia del concreto sumi-
nistrado por concretos "X" en la obra denominada Fábrica de Motores --
"Y"). Se partió de un conjunto o lista de valores individuales de re-
sistencia, que forman un fenómeno de masa o colectivo y que presenta-
dos en esta forma (de lista), se obtiene una serie simple que por la -
gran cantidad de términos que la forman, poco o nada dice con relación
a las características más sobresalientes de los datos registrados. Pe-
ro si esa serie se transforma como se hizo en una de las frecuencias,
se puede captar fácilmente el mayor número de las características fun-
damentales de los hechos,

Como se observa en nuestro ejemplo del informe del Laboratorio, los re-
sultados de resistencia del concreto, se agruparon en intervalos o ran-
gos de clase y se determinó la frecuencia en cada uno de ellos; esto -
es, de valores que quedaron comprendidos en cada uno de estos interva-
los. La forma en que se repartieron estas frecuencias, es la que se de-
nomina "Distribución de Frecuencias". En nuestro ejemplo se empleó pa-
ra efectuar esa representación gráfica, un diagrama de rectángulos o -
barras, en el que cada una de ellas tiene como base la amplitud de ca-

da clase (10 Kg/cm^2) y como altura la frecuencia respectiva. Por consiguiente, la superficie de cada rectángulo es proporcional a la frecuencia de la clase correspondiente. Esta forma de representación se llama "Histograma".

Es muy importante imaginar que si se aumenta el número de observaciones, manteniendo finitas las frecuencias de las clases, y si se hace cada vez más pequeñas las amplitudes de éstas, el Histograma tenderá cada vez más a una curva continua que se denomina "Curva de Frecuencias", que en este caso es la Campana de Gauss. Por lo tanto el área bajo esta curva es el área total de probabilidades y la comprendida bajo la misma en un determinado intervalo, es la probabilidad de que el resultado del experimento, (en este caso, el resultado de resistencia de ensaye) caiga en ese intervalo.

Se le llama área total de probabilidades, por la sencilla razón de que por pequeño o grande que sea el valor de resistencia que se obtenga, éste siempre quedará bajo la curva que es asintótica, así mismo a mayor distancia de estos con respecto a la media de la curva, la altura de la curva en esos puntos será cada vez menor y dado que esta dimensión es la frecuencia o probabilidad, será cada vez menor, pero nunca desaparecerá. Pudiera pensarse que se ha tomado probabilidad como sinnónimo de frecuencia, por lo que se tratará de aclarar. "La frecuencia (real) de que se presente un evento cualquiera al efectuar un experimento, tiende a la probabilidad (teórica), conforme el número de veces que se realiza el experimento tiende a infinito".

En el ejemplo que citamos de lanzar al aire una moneda, anotamos que - la probabilidad de que cayera Aguila o Sol, era la misma, y esto es lógico, no obstante si gráficamos la frecuencia con la que esto se pre-sente, observamos que conforme incrementamos el número de veces el ex-perimento de lanzar la moneda, nos iremos acercando a la probabilidad antes mencionada.

En base a lo anterior, es fácil entender que es posible en un proceso de producción a nivel industrial controlar el o los índices de calidad de un determinado producto, siempre y cuando se conozca su comporta----miento o distribución de frecuencias y se fijen los procesos de producu-ción y los límites o niveles de calidad deseados.

TECNICA ESTADISTICA.

En la Norma ACI 214-65 se describen técnicas estadísticas para evaluar los resultados de las pruebas del concreto en campo conforme a la in----formación deseada.

La forma de la curva típica de distribución de frecuencia mostrada en la Fig. No. 5, depende de la variabilidad de los resultados de prueba. Al aumentar la variabilidad, la curva se abate y se alarga. Cuando la variabilidad es pequeña, los valores de la resistencia se encuentran - cerca del promedio y la curva es alta y angosta.

La desviación estándar, σ , es una medida de la dispersión o variabil-idad de los datos. Cuando la distribución de frecuencias es larga y aba

tida, el valor de σ es grande, lo cual indica mucha variación. Cuando hay poca variabilidad, los valores de resistencia se aglomeran alrededor del promedio, y el valor de σ es pequeño.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada del promedio de la desviación al cuadrado de los resultados de prueba y se calcula con la fórmula siguiente:

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

donde:

X_1, X_2, \dots, X_n = Son valores individuales de las pruebas de resistencia.

\bar{X} = Es la media aritmética de las resistencias.

n = Es el número de pruebas; $(n-1)$ cuando el número de pruebas es menor de 30 muestras.

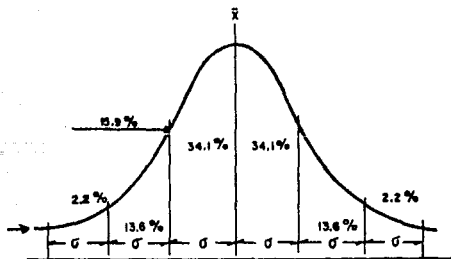


Fig. 5. División del área situada debajo de la curva de distribución de frecuencia normal, basada en desviaciones de \bar{X} en múltiplos de σ .

Una vez calculada la desviación estándar, se tiene información valiosa acerca de la "curva de probabilidades" normal. En la fig. 5 se muestra una curva teórica característica en forma de campana, donde los valores de σ se han indicado gráficamente. Cualquiera que sea la forma de la curva teórica y el valor de σ , el área bajo la curva entre $(\bar{X} + \sigma)$ y $(\bar{X} - \sigma)$ será siempre el 68.2 por ciento del área total bajo la curva, y el área bajo la curva entre $(\bar{X} - 2\sigma)$ y $(\bar{X} + 2\sigma)$ será igual al 95.4 por ciento del total. Si consideramos solamente la mitad de la curva - bajo \bar{X} , el 34.1 por ciento del área quedará entre \bar{X} y $(\bar{X} - \sigma)$, y de ahí se deduce que el 15.9 por ciento del área de la curva quedará por debajo de $(\bar{X} - \sigma)$.

Estos mismos porcentajes se aplicarán para el número de pruebas en cuestión, así como para el área. Por ejemplo, el 15.9 por ciento de las pruebas para cualquier curva normal quedará debajo de $(\bar{X} - \sigma)$.

La tabla siguiente es una adaptación de la tabla de la integral de probabilidad normal realizada por Paradine y Rivett, para mostrar el porcentaje de las pruebas de resistencia del concreto que quedan abajo de desviaciones arbitrarias de \bar{X} , en vez de puntos de la curva teórica. En la tabla, la resistencia especificada $f'c$ es constante y \bar{X} aumenta en incrementos de 0.1σ .

Se ha establecido que el 15.9 por ciento de las pruebas queda por debajo de $(\bar{X} - \sigma)$. En la tabla se muestra que si:

$$\bar{X} = f'c + \sigma \quad \text{entonces } f'c = \bar{X} - \sigma$$

y el 15.9 por ciento de las pruebas quedará por debajo de $f'c$.

La tabla se emplea para establecer el promedio de resistencia requerido, y también para determinar la probabilidad de pruebas inferiores a la resistencia especificada que pueden aparecer en un proyecto, cuando se conoce el valor de σ .

TABLA DE PORCENTAJES INFERIORES A $f'c$ ESPERADOS EN LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

RESISTENCIA PROMEDIO \bar{X}	PORCENTAJE DE RESULTADOS BAJOS	RESISTENCIA PROMEDIO \bar{X}	PORCENTAJE DE RESULTADOS BAJOS
$f'c + 0.10 \sigma$	46,0	$f'c + 1.60 \sigma$	5,5
$f'c + 0.20 \sigma$	42,1	$f'c + 1.70 \sigma$	4,5
$f'c + 0.30 \sigma$	38,2	$f'c + 1.80 \sigma$	3,6
$f'c + 0.40 \sigma$	34,5	$f'c + 1.90 \sigma$	2,9
$f'c + 0.50 \sigma$	30,9	$f'c + 2 \sigma$	2,3
$f'c + 0.60 \sigma$	27,4	$f'c + 2.1 \sigma$	1,8
$f'c + 0.70 \sigma$	24,2	$f'c + 2.2 \sigma$	1,4
$f'c + 0.80 \sigma$	21,2	$f'c + 2.3 \sigma$	1,1
$f'c + 0.90 \sigma$	18,4	$f'c + 2.4 \sigma$	0,8
$f'c + \sigma$	15,9	$f'c + 2.5 \sigma$	0,6
$f'c + 1.10 \sigma$	13,6	$f'c + 2.6 \sigma$	0,45
$f'c + 1.20 \sigma$	11,5	$f'c + 2.7 \sigma$	0,35
$f'c + 1.30 \sigma$	9,7	$f'c + 2.8 \sigma$	0,25
$f'c + 1.40 \sigma$	8,1	$f'c + 2.9 \sigma$	0,19
$f'c + 1.50 \sigma$	6,7	$f'c + 3 \sigma$	0,13

Como ejemplo, supondremos que de la misma obra anteriormente señalada, se debe determinar la probabilidad de las pruebas que pueden aparecer por debajo de la $f'c$.

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{X} = 230 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{X} - f'c = 230 - 200 = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$30 = \frac{30}{31} \sigma = 0.96\sigma$$

Por la tabla, la probabilidad de las pruebas por debajo de $f'c$ si $\bar{X} = f'c + 0.9\sigma$ es igual a aproximadamente el 18.4 por ciento, o sea, que efectivamente se obtuvieron el 18 por ciento de resultados inferiores a 200 kg/cm².

3.1.2 CARTAS DE CONTROL

Durante muchos años las industrias manufactureras han utilizado las cartas de control de calidad, como una ayuda para reducir la variabilidad e incrementar la eficiencia en producción, dentro de los niveles de calidad especificados, los parámetros que interesan, esto es, el promedio \bar{X} y la dispersión expresada por rango \bar{R} .

La teoría general de las cartas de control, se basa en la distribución de frecuencias del índice que estamos controlando. En efecto, si se sabe por ejemplo, que la resistencia se comportará conforme a una curva normal y que su rango de variación será función de la desviación estándar, como parámetro de dispersión correspondiente al grado de control que se este ejerciendo sobre el proceso de producción, y que además variará simetricamente con respecto a su media. Es sencillo -

construir una carta de control de medias, ya que bastará, suponiendo que se grafican los resultados de los ensayos a su edad especificada, únicamente trazar la media en la ordenada que se haya escogido y marcar por encima y por debajo los límites superiores e inferiores, como función de la desviación estándar y del nivel de confianza que se desea tener.

En lo que a controlar la dispersión se refiere, simultáneamente se -- construyen cartas ya sea de desviación estándar, o bien de rangos en subgrupos de determinado número de valores, cuyos límites de control sean función también de la forma de su distribución.

COMO CONSTRUIR LAS CARTAS DE CONTROL.

- 1.- A fin de establecer las Cartas de Control, deberá hacerse un número suficiente de pruebas que permitan tener una representación -- certera de las variaciones esperadas en las revolturas. Es recomendable seleccionar un mínimo de 30 muestras consecutivas.

Con los resultados de los especímenes se calculará el promedio de ellos (\bar{x}) por cada muestra.

$$\bar{x} = \frac{X_a + X_b + X_c}{3}$$

donde X_a , X_b , y X_c , son los resultados de las pruebas de resistencia. \bar{x} también representa el valor de resistencia a la compresión de la muestra, tomada esta como resultado individual.

Con estos valores se determinará:

- La amplitud o intervalo (de cada muestra)

$$R_i = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín.}}$$

- El promedio (\bar{X}) o media aritmética de todas las muestras.

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

donde X_1, X_2, \dots, X_n son los promedios de las tres resistencias de cada una de las muestras.

- La desviación estándar de los promedios de las tres resistencias de cada muestra.
- Resistencia promedio requerida, que se tratará de obtener a fin de garantizar un $f'c$ dentro de tolerancia.

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

donde:

$f'c$ = resistencia especificada en el proyecto estructural.

t = constante que depende de la proporción de muestras que --
quedan abajo de $f'c$. Para uso práctico tómesese 0.846 para
concreto clase "A".

\sqrt{v} = valor de la desviación estándar.

- Los límites de control, que quedan definidos por:

$$L_c = f'c + \sigma (t \pm Z)$$

donde:

Z = valor que depende del porcentaje que se estima probable inferior a $f'c$. Para usos prácticos tómesese 2.326, lo que equivale a trabajar con un nivel de confianza del 98%, o sea que en la obra del 98% de las muestras tomadas del concreto recibido satisfagan los límites de control

- 2.- Con estos resultados se procederá a graficar tres Cartas de Control. En las tres cartas, las abscisas indican el número de muestras ensayadas; en las dos primeras aparecerá, en los ejes de las ordenadas las resistencias; paralelamente al eje de las abscisas se dibujarán líneas que corresponden a los valores de resistencia de $f'c$ de proyecto, el valor medio \bar{f}_c y los límites de control, superior e inferior.

La primera carta servirá para graficar los resultados de las pruebas en todos los especímenes, por ello recibe el nombre de "carta de pruebas individuales de resistencia".

La segunda carta de "Promedio variable para la resistencia", contendrá los mismos límites de control que la anterior, y graficará en el número de serie de cada muestra, al promedio variable de resistencias a la compresión de las cinco muestras consecutivas previas.

La tercera carta de "Promedio variable para el intervalo", se forma colocando en el eje de abscisas los números de serie de muestras y en el de ordenadas el promedio variable de amplitudes de -resistencias a la compresión de las amplitudes que son el resultado de restar la resistencia menor de la mayor de los tres especímenes de cada muestra. Los límites de aceptación de esta carta se rá "O" para el inferior y R_m para el superior.

$$R_m = \frac{\bar{R}}{\bar{X}} \text{ fcr}$$

Donde \bar{R} es el promedio de las amplitudes R_i de todas las muestras, \bar{X} es el promedio de todas las resistencias de cada muestra obtenidas, a su vez, sacando para cada una el promedio de las resisten-cias de sus tres especímenes.

Como valores prácticos iniciales para R_m , se puede tomar.

$$R_m = 0.0564 \text{ fcr para 2 cilindros}$$

$$R_m = 0.08465 \text{ fcr para 3 cilindros}$$

- 3.- De cada entrega muestreada, se tomará concreto suficiente para fabricar cuatro cilindros estándar según se indica en las Normas de Construcción de SCT.

El primer cilindro de la muestra se probará a los 7 días de fra-guado si se ha usado cemento normal o a los 3 días si se ha usado cemento de fraguado rápido. El valor de resistencia obtenido se -

considera un indicador de la resistencia de la muestra pues debe ser cuando menos el 70% de la $f'c$ especificada en el proyecto. - El valor de este indicador no se considerará un dato decisivo -- con fines de aceptación o rechazo, pero puede utilizarse para -- proceder a la corrección del proporcionamiento.

Los cilindros segundo, tercero y cuarto se dejarán fraguar durante 28 días si se usa cemento normal o 14 si es cemento de fraguado rápido; al cabo de ese tiempo se probarán a la compresión simple, y la resistencia de la muestra se comparará con la de proyecto ($f'c$).

- 4.- Con los resultados de las pruebas de compresión simple realizadas a los 14 días ó 28 días (según si el cemento utilizado fué de tipo rápido o normal respectivamente), se procederá a anotar en -- forma tabulada el número de muestras, las resistencias de cada -- uno de los especímenes que constituyen las muestras y el promedio de ellas.

Con estos datos se determinará, para cada muestra, su amplitud -- restando la resistencia más baja de la resistencia más alta (del grupo de 3 ensayos que integra la muestra).

Estos datos permiten estudiar en la primera carta, denominada -- "De pruebas individuales de resistencia", los resultados de las pruebas de todos los especímenes, graficándolos inmediatamente de probados, (indicando en el eje de las abscisas el número de mues-

tras). Para cada una de las muestras corresponderán cuatro valores de resistencias, tres de estos serán los de cada uno de los especímenes que constituyen la muestra y el cuarto el promedio de los tres valores.

Se traza la línea que une los respectivos promedios teniéndose así la gráfica de medias.

La gráfica anterior proporciona un primer criterio de aceptación o rechazo, pues por un lado, no se permite que más de 20 en 100 de las resistencias medias de cada muestra tengan valores inferiores a la resistencia especificada $f'c$; y por otro lado no más de una en 100 de las pruebas de resistencia puede ser menor que el límite inferior de control.

La segunda carta denominada de "Promedio variable para la resistencia", puede considerarse como complementaria de la primera; tiene el objeto de graficar los promedios de resistencia de 5 muestras consecutivas, construyéndose como sigue:

En el eje de las abscisas se colocan consecutivamente y uniformemente espaciados, los números correspondientes a todas las muestras disponibles.

En el eje de las ordenadas se colocan valores promedios de las resistencias de los grupos de 5 muestras consecutivas.

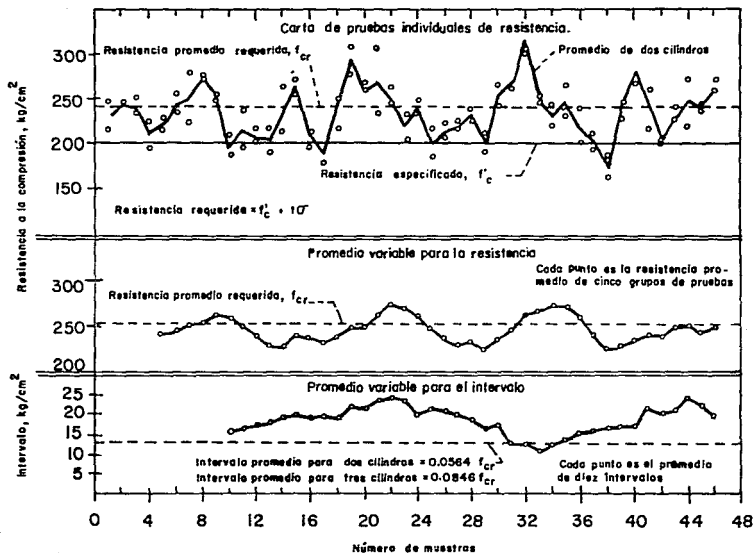
La tercera Carta de "Promedio variable para el intervalo", se elabora graficando el promedio variable de 10 amplitudes consecutivas.

La construcción de esta gráfica se hace colocando en el eje de las abscisas en forma consecutiva y uniformemente espaciados, los números correspondientes a todas las muestras disponibles. En el eje de las ordenadas se colocan los valores promedio de las amplitudes de diez muestras consecutivas.

La amplitud entre valores de los especímenes es indicadora del control y cuidado que el laboratorio tiene de las muestras, por ello esta Carta califica el control interno del mismo.

Los promedios de amplitudes deberán quedar dentro de las líneas de control O y R_m .

- 5.- El complemento a estas Cartas consistirá en realizar ajustes a los valores de fcr , R_m y los límites de control inferior y superior conforme continúe la producción, detectando y eliminando las causas asignables y reduciendo las causas estables. Hecho esto se procederá a determinar el valor medio fcr y las líneas de control mínima y máxima de valores individuales (como se indicó en el punto 1).



Cartas de control de calidad para el concreto.

3.2 EMPLEO DE METODOS ACELERADOS DE CURADO,

El desarrollo que se ha tenido en los métodos de producción y colocación del concreto es sorprendente. Actualmente se cuenta con plantas -premezcladoras de alta capacidad (más de 100 m³ por hora), con camiones-revolvedora-bomba, con bombas que transportan el concreto a longitudes verticales mayores de 100 metros, y horizontales superiores a -- 300 metros, y que además permiten a los contratistas colocar y acabar volúmenes de concreto tan altos como 100 a 300 m³ por hora; al extremo de que existen grandes estructuras que se terminan sin haber ensayado un sólo cilindro de concreto convencional, curado con el estándar de - 28 días. Tal es el caso de silos construidos empleando cimbra deslizante.

El concreto que ha sido correctamente curado es superior en muchos aspectos, no solo es más resistente y más durable bajo ataques químicos, sino que también es más resistente al desgaste y más impermeable; por añadidura, es menos probable que lo dañen las heladas y los golpes -- accidentales que recibe.

El período que transcurre entre la colocación del concreto y la evaluación de su calidad, puede reducirse considerablemente mediante los métodos de prueba acelerada.

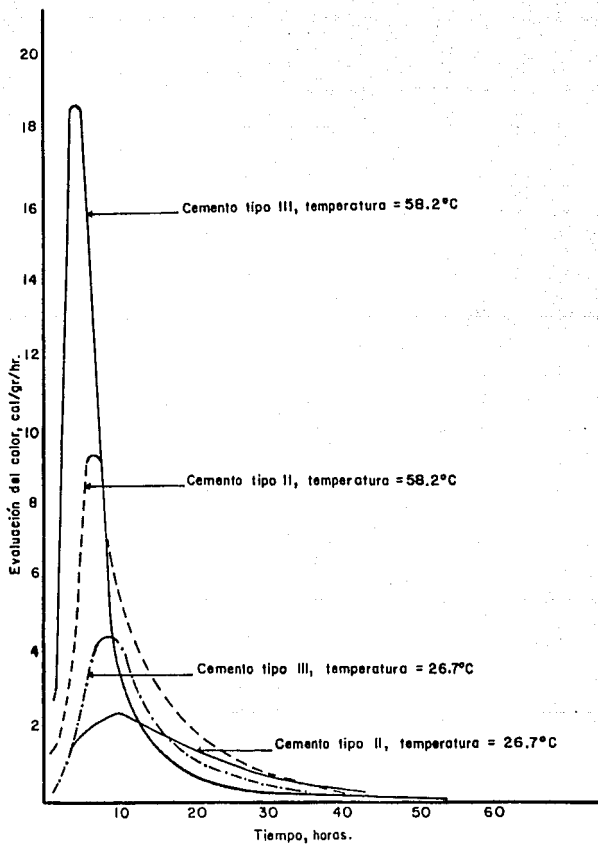
El curado acelerado reduce el tiempo de espera de 28 días a uno ó dos días por lo que la resistencia a la edad especificada puede estimarse razonablemente bien en pocos días.

En las pruebas aceleradas de resistencia, el concreto es sometido a temperaturas altas para acelerar las reacciones químicas involucradas en la hidratación y endurecimiento: La hidratación del cemento es una reacción química exotérmica; si cuando esta reacción está progresando se le aplica calor, la hidratación se acelerará ocurriendo endurecimiento rápido de la pasta de cemento, y en consecuencia, un incremento de la resistencia. Si se mide la cantidad de calor que se desprende a temperatura normal y a temperatura elevada, se observa que el desprendimiento de calor a temperaturas elevadas es mayor que a temperaturas normales, esto implica que el proceso de hidratación sea más rápido y que necesariamente el incremento de resistencia debido a temperaturas elevadas también se acelere.

En la siguiente figura, puede verse que cuando se mide la tasa de evolución del calor a temperatura normal y a temperatura elevada (aplicando calor), la evolución del calor a temperaturas elevadas es mayor que a temperaturas normales,

Antecedentes de los métodos de prueba acelerada.

Los métodos de curado acelerado, datan desde 1927 cuando Moore and Co., Engineers, San Francisco, E.U.A., empleó un método consistente en elaborar cilindros estándar, manteniéndolos en condiciones normales de curado por 24 horas después de moldeados, sometiénolos posteriormente a un baño de vapor saturado a una presión de 5,6 a 7 kg/cm² durante 12 horas y ensayándolos una hora después, es decir, realizando la prueba en un total de 37 horas. Sin embargo, el procedimiento no tuvo mucha



aceptación. Fué hasta los años treinta en que por primera vez se emplearon pruebas aceleradas. Esto sucedió durante la construcción del dique Hoover. El método consistía en hervir durante siete horas especímenes cilíndricos, enfriarlos, y ensayarlos durante una hora más, por consiguiente efectuando la prueba en un total de 8 horas. Este método se realizó en el campo durante varios años abandonándose finalmente por falta de precisión en la predicción de resistencias finales.

No fué sino hasta 1955, cuando las autoridades del puerto de Londres, Reino Unido, emplearon una prueba acelerada consistente en fabricar cubos de 15 cm, e introducirlos media hora después de moldeados en un horno a una temperatura de 85°C, teniendo la prueba una duración total de 7 horas.

Este sistema fué seguido por el uso de agua en ebullición, en 1956. La junta de Alcantarillado y Drenaje, en Sidney Australia, introducía en está durante 21 horas los especímenes, una hora después de haber sido elaboradas, teniendo también esta prueba, una duración de 24 horas.

En 1965 Smith y Tiede desarrollaron el método de prueba de curado autógeno, en el cual el concreto se "cocina en su propio calor".

El subcomité 11-1 de la American Society for Testing and Materials - (ASTM), comité C-9, reconociendo la necesidad de contar con resultados rápidos, inició un programa de pruebas en cooperativa, y en base al análisis estadístico de la información obtenida en las pruebas, en 1971, estandarizó tres procedimientos de curado acelerado y estos son:

- A.- Agua caliente.- En este método se utilizan moldes herméticos, ya que los cilindros de concreto se introducen inmediatamente después de haberse elaborado en agua caliente a una temperatura de 35°C, manteniéndose en ella durante 23 1/2 horas \pm 5 minutos y ensayándose a un tiempo total a partir de iniciada la prueba de 24 horas \pm 15 minutos.
- B.- Agua Hirviendo.- En este método una vez elaborados los cilindros se mantienen durante 23 horas \pm 15 minutos en condiciones de curado estándar, al cabo de este tiempo se introducen en agua hirviendo durante 3 1/2 horas \pm 5 minutos y el ensaye es a los 28 1/2 horas \pm 15 minutos a partir de iniciada la prueba.
- C.- Autógeno.- Para este procedimiento, únicamente se emplean moldes aislantes, que evitan la pérdida del calor propio de la hidratación del cemento, siendo éste y la misma humedad del concreto los que llevan a cabo el curado. De ahí su nombre de curado autógeno. Para este método se emplean moldes de un solo uso en donde se cueban los cilindros, e inmediatamente después de ser fabricados se introducen en otros moldes aislantes, generalmente el material empleado es espuma de poliestireno, pudiéndose estos cerrarse herméticamente. Se mantiene el concreto en estas condiciones durante 48 horas \pm 15 minutos y se ensayan los cilindros una hora después, es decir, a las 49 horas \pm 15 minutos.

Cualesquiera de estos métodos, proporcionará elementos de juicio necesarios para que se pueda, en función de los tempranos resultados por

medio de ellos obtenidos, determinar confiablemente la potencialidad de desarrollo de resistencia que poseen los concretos analizados.

3.3 VERIFICACION DE LA CALIDAD DEL CONCRETO EN LA ESTRUCTURA

Es importante entender, que ciertamente existe una diferencia importante entre las características de resistencia del concreto de los cilindros de prueba, y del que se encontró en la estructura. En efecto, esto sucede debido a que las condiciones de construcción, acomodo o vibrado, temperatura, humedad, etc., definitivamente son diferentes.

La razón por la cual se fabrican cilindros de prueba es: Por una parte, se requiere que la evaluación de la calidad del concreto, como base de aceptación se realice siguiendo procedimientos estandarizados; sería realmente imposible determinar en un momento dado, si las características de calidad de un concreto son o no son las adecuadas y si éste -- cuando se elaboró, poseía la potencialidad suficiente para alcanzar su resistencia de diseño; o bien que la causa de que esto no sucediera radicaba en los malos procedimientos que una vez elaborado y entregado éste, terminaron por afectarlo.

Por otra parte, es indispensable, en la época actual en que se le da primordial importancia a la seguridad en la construcción, y ante la necesidad de determinar un tiempo seguro para descimbrar, establecer si los concretos de fraguado rápido, cuya utilización ha aumentado últimamente en la construcción, han alcanzado la madurez requerida, proporcionando una completa seguridad al trabajador; la forma de lograr esto,

es sin duda probando el concreto de la estructura,

Se han desarrollado una gran cantidad de métodos para evaluar la calidad y resistencia del concreto en la estructura, estas pruebas pueden clasificarse en dos grupos; parcialmente destructivos ó semidestructivos y pruebas no destructivas.

3.3.1 PRUEBAS PARCIALMENTE DESTRUCTIVAS

Esta clasificación agrupa básicamente las pruebas efectuadas en corazones, las de penetración o rebote y la de extracción.

Corazones.- La prueba de corazones, consiste en extraer núcleos de concreto de las zonas de la estructura en que se deseen conocer sus resistencias. Estos núcleos pueden ser vigas aserradas o cilindros, siendo más comunes los segundos, empleándose para su extracción brocas con incrustaciones perimetrales de diamante industrial, lo que permite corrtar sin problema alguno el concreto, inclusive aquellos fabricados con agregados de gran dureza.

Los corazones se cortan para determinar la resistencia del concreto, y pueden emplearse también para detectar la segregación o las cavidades existentes en el concreto, así como para verificar la adherencia en las juntas de construcción.

La resistencia de los corazones es, en general, inferior a la de los cilindros estándar, porque el curado en la obra es siempre de menor calidad que el curado bajo condiciones estándar de humedad.



Extracción en posición vertical de corazones de un elemento de concreto hidráulico, empleando broca de diamante de 4" de diámetro.

El criterio de evaluación de los resultados obtenidos en los corazones para aceptación del concreto, se marca en el A.C.I.-318-71. 4.3.5 Que a continuación se anuncia.

Deberán tomarse tres corazones de la zona de la estructura que se desee analizar. El concreto de la zona representada por los corazones, se considerará estructuralmente adecuada si el promedio de los tres corazones es por lo menos igual al 85 por ciento de f'_c , y ningún corazón

tiene una resistencia menor del 75 por ciento de f'c. En cuanto al sis tema de curado, se sugiere que si el concreto de la estructura va a es tar seco durante las condiciones de servicio, los corazones deberán se carse al aire (temperatura entre 15 y 30°C, humedad relativa menor del 60 por ciento), durante 7 días antes de la prueba, y deberán probarse secos. Si el concreto de la estructura va a estar muy húmedo, más que superficialmente húmedo, durante las condiciones de servicio, los cora zones deberán sumergirse en el agua por lo menos durante 48 horas y -- probarse húmedos.

Este método de verificación de la calidad, no siempre es posible de -- llevarse a cabo, ya que en ocasiones, constituye un problema el tomar éstos de la estructura y, en las ocasiones en que si es posible extraer los, puede dañarse la integridad de la misma en grados variables, de-- pendiendo del tamaño, número y localización de los corazones.

Sin embargo, en nuestro país esta prueba es la más comunmente empleada, siempre que se desea verificar la calidad o resistencia del concreto - endurecido.

Pruebas de penetración y rebote.

Existen al respecto dos métodos, el de penetración y el de rebote, ambos miden la dureza en la superficie del concreto, propiedad que se re laciona con la resistencia a la compresión del mismo.

Pruebas de penetración.- Estas pruebas consisten, en comprimir el mate

rial. Para ésto, se aplica una sonda sobre la superficie del concreto a una fuerza conocida y controlada, la cual por ser de un material de una dureza mucho mayor que la del concreto penetra en éste dejando -- una marca de determinadas dimensiones, la cual se mide y este valor -- se correlaciona con la resistencia del concreto. Como ejemplo ésta -- prueba es "La Pistola de Windsor", el mencionado equipo utiliza una -- carga explosiva para propulsar la varilla de acero y hacer que ésta -- penetre en el concreto, correlacionándose el valor de penetración con la resistencia a la compresión del concreto.

Prueba de rebote.- Esta prueba emplea "El Martillo Schmidt", mejor conocido como esclerómetro. Consiste en hacer incidir el aparato sobre la superficie de concreto que se desee analizar. Al hacer lo anterior, mediante un émbolo accionado por un resorte, se genera un impacto y -- éste se obtienen ciertos valores de rebote, que son los que se relacionan con la resistencia. Este método es sumamente útil a la vez que rápido y económico, dado que permite analizar en lapsos cortos una -- gran cantidad de elementos estructurales.

Cabe aclarar que no es confiable pretender encontrar la resistencia a la compresión como función única del valor obtenido. En efecto, este método sirve básicamente para establecer comparaciones entre diferentes zonas de una estructura, o bien entre la estructura y especímenes hechos con el mismo concreto.

Lo anterior se apoya, en que los resultados de rebote se ven afectados notablemente por situaciones tales como: la posición del martillo

durante su aplicación sobre el concreto, el grado de humedad en el mismo.

Prueba de extracción.- Para esta prueba se emplea un "Dinamómetro" especial que mide la fuerza necesaria que se requiere para extraer del concreto una varilla de acero de forma especial, cuyo extremo alargado se ha colocado dentro del concreto. La varilla de acero se jala hacia el exterior sometiendo al concreto a tensión y cortante en forma simultánea. Al extraer la varilla, ésta sale junto con un cono de concreto cuyas líneas generadoras corren aproximadamente a 45 grados con respecto a la vertical. Se correlaciona la fuerza de extracción con la resistencia a compresión del concreto. Esta prueba tiene la ventaja de que puede efectuarse rápidamente y a bajo costo, y como es fácil de imaginar, es un buen método para conocer en que momento podemos disminuir.

3.3.2 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Se denomina pruebas no destructivas a aquellos procedimientos que por su aplicación no se afecta la integridad y propiedades del concreto. Estos procedimientos a los que también suele llamárseles "Pruebas Dinámicas", se basan en las propiedades vibratorias del concreto para estimar la calidad del mismo.

En la actualidad existen tres equipos dinámicos de medición:

1.- **Frecuencia Resonante.**- Este método se basa en la medición de la

frecuencia resonante de la vibración.

- 2.- Velocidad Mecánica del Pulso Sónico.- Permite medir el tiempo que tarda en viajar una onda de sonido generada por un sólo impacto.
- 3.- Método de Velocidad del Pulso Ultrasónico.- Este método es similar al anterior, ya que su diferencia consiste en que las ondas de sonido son generadas electrónicamente.

El campo de aplicación de estas pruebas, no se limita únicamente a las estimaciones descritas, sino que nos permite adicionalmente utilizarlas para localizar defectos en el concreto colocado, como pueden ser grietas u oquedades. Asimismo, se les ha empleado en el campo para determinar en el concreto de temprana edad sus características de fraguado y para evaluar la acción de aditivos retardantes o acelerantes. Más aún, las pruebas ultrasónicas efectuadas a las 10 horas pueden proporcionar una estimación de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

Las pruebas ultrasónicas se han utilizado exitosamente en operaciones de presforzado y prefabricado, donde el control de calidad es generalmente mejor que el de campo.

Métodos Radioactivos.

Este procedimiento se basa en la medición de la cantidad de radiación que absorbe el concreto al ser atravesado por una haz de rayos X o de radiaciones Gamma.

Las partes más densas absorben más radiación que las partes menos densas, en función de ésto es posible establecer una correlación entre la cantidad absorbida y la densidad del medio atravesado. Estos métodos se emplean principalmente para identificar los defectos que se desarrollan en el concreto durante su colocación.

Existen dos métodos de aplicación. En el primero se mide la densidad de la radiación, después de haber atravesado un elemento cuyo espesor se conoce. En el segundo la medición se realiza sobre la misma superficie en que se aplica la radiación, recibiendo solamente los rayos que se reflejan; éste tiene ventaja de ser aplicable aún cuando no sea accesible la cara opuesta del elemento.

En ambos casos, el procedimiento es aplicable a espesores máximos de concreto comprendidos entre 0.60 y 0.90 m. Su empleo por esta causa se limita a detectar cavidades en elementos relativamente angostos, como pueden ser las que presentan al no rellenar correctamente los ductos de cables postensados.

De los dos rayos el más usado es el de las radiaciones Gamma debido a que el equipo que se utiliza es más portátil que el de rayos X. Se puede usar más fácilmente en los lugares de construcción, penetra secciones más gruesas de concreto y es más económico.

IV.- CONCLUSIONES

El control de calidad del concreto premezclado, debe ser llevado a cabo durante su producción por el fabricante, conocedor único de las características de sus materiales, de la realidad de sus sistemas de producción y capacitación de su personal, como se trata en el tema II.

Los desajustes en el equipo de medición y mezclado de materiales durante la producción de concreto, potencialmente representan un riesgo sumamente alto en la calidad del mismo. El concreto es de los pocos materiales del que en el momento de su colocación se desconocen sus características mecánicas, ya que se espera serán alcanzadas al cabo de cuatro semanas. El concreto en estado fresco no nos dice mucho sobre posibles alteraciones en las cantidades de agregados, principalmente de cemento y aditivos, las que de ser importantes harán inservible a este material con sus obvias consecuencias (2.1).

Para que se acepten los equipo de medición, dosificación y mezclado, - han de cumplir con una serie de requisitos en cuanto a funcionamiento, aproximación y diseño (2.1.1 - 2.1.3).

Al producir concreto con materiales conocidos y controlados, cuyas deficiencias o variaciones normales se tomen en cuenta para su dosificación, propiciará que su comportamiento probabilístico se presente conforme a lo estimado, lográndose el nivel de calidad propuesto. Pero si no se ha tenido en el momento preciso control sobre la producción, el

concreto elaborado en estas condiciones se apartará de lo especificado (2.2).

Para la decisiva influencia de las características del cemento en las del concreto, se cuenta con las pruebas físicas y químicas para saber de la calidad del cemento, repercutiendo estas en la calidad del concreto.

Los agregados y su proporcionamiento, definen las características de - manejabilidad, cohesión, homogeneidad, sangrado, etc., en estado fresco; y durabilidad, permeabilidad, resistencia al desgaste e intemperismo, una vez endurecido. Además son los que permiten reducir el consumo de cemento y en consecuencia producir mezclas más económicas (2.2.2).

Es importante que una vez conocidos con detalle los agregados a usar, - decir que pruebas físicas habrá de practicárseles periódicamente, no - se debe de olvidar que la idea es la misma, es la de tener datos oportunos que permitan durante la producción hacer las correcciones requeridas para lograr la calidad deseada (2.2.2,1).

Los diferentes ingredientes y el manejo de los materiales para concreto, consta de una serie de operaciones necesarias para hacerlos llegar en condiciones satisfactorias, hasta el punto mismo en que deben medir se las cantidades previstas para integrar la mezcla de concreto fresco (2.2.3).

En el caso de cemento, se tienen dos alternativas para recibirlo, a --

granel o en sacos de 50 kg. Es importante conocer las principales prácticas que deben seguirse para cada caso, así como su almacenamiento y manejo (2.2.3.1).

Obtener los agregados en condiciones adecuadas para su utilización -- siempre requieren de todo un proceso y manejo cuya amplitud depende de la procedencia de los materiales y los volúmenes manejados. Cuando los agregados son de origen natural, el proceso consiste en la explotación del banco, clasificación y transporte; si los agregados son manufacturados, el proceso se vuelve más complejo teniéndose que triturar o moler, lavar el material, etc. Esto es importante por la forma de partículas que se va a obtener, empleando diferentes equipos durante las -- distintas etapas del proceso de reducción. Por otra parte, debe garantizarse que los agregados lleguen al equipo dosificador como salen del equipo clasificador (2.2.3.2).

El agua que se utiliza para el mezclado del concreto, normalmente debe aprobarse mediante ensayos del laboratorio, e impedir su contaminación una vez almacenada, aunado a lo dicho en el párrafo anterior, es fundamental para conocer el tipo de agua por utilizar, fabricando con estas mezclas de concreto y analizar el comportamiento del mismo, en cuanto a fraguado y resistencia a la compresión, comparativamente con mezclas de concreto en las que se haya utilizado diferentes tipos de agua. Se da una secuela para su selección (2.2.3.3.)

Para los aditivos deben extremarse las precauciones de almacenamiento, transporte, descarga, identificación mantenimiento en condiciones ópti

mas de calidad y la precisión de los equipos dosificadores. Una planta premezcladora puede manejar un gran número de aditivos, algunos inclusive, de previa preparación en planta; siendo necesario enfatizar que de acuerdo a su función, las proporciones en que se usan los distintos aditivos son muy diferentes, por decir algo, los reductores de agua y retardantes se dosifican a milésimas del peso de cemento, en tanto que los acelerantes a centésimas, por lo que al confundirlos en su empleo, los resultados pueden ser totalmente erráticos (2.2.3.4).

Generalmente la determinación de la resistencia a la compresión simple es la más frecuente para estimar la calidad del concreto; esta prueba es la más sencilla, rápida y de resultados más reproducibles, entre las que pueden efectuarse al concreto endurecido, como se trata en el tema III.

Los especímenes de prueba, únicamente serán representativos de la calidad del concreto si se siguen los procedimientos de muestreo, elaboración, curado y ensaye estandarizados, ya que factores tales como energía de moldeo, humedad y temperatura de curado, edad de prueba, dimensiones del espécimen, condiciones y velocidad de carga, etc., tienen influencia decisiva en el resultado final (3.1).

El comportamiento natural del índice de resistencia a la compresión en el concreto, tiene como modelo matemático una Distribución Normal o Campana de Gauss; en base a este comportamiento probabilístico, es que se han elaborado sus especificaciones. La manera en que el concreto producido a nivel industrial debe ser diseñado e interpretado (3.1.1)

Una de las herramientas más valiosas de las que dispone el productor de concreto para verificar y mantener la calidad de su producto, dentro de los límites deseados, son las cartas de control, que permite agrupar todos los valores de resistencia obtenidos sin recurrir al expediente, respetando en todo momento la geometría de su distribución de frecuencia. Esta opción permite anotar en un solo pliego, todos los datos que se van obteniendo de las diferentes clases de concreto producido, por lo que redunda en un notable ahorro de tiempo y de trabajo.

En una empresa productora de concreto que elabora una gran variedad de mezclas de diferentes características (resistencias, tipo, tamaño máximo de agregado, revenimiento), es necesario que cada una de éstas se encuentre en el mismo nivel de calidad requerido, esto es, que al analizar los parámetros que definen el comportamiento mecánico de un conjunto de resultados de concretos de características iguales de diseño, éstos sean semejantes entre sí, con los demás conjuntos de diferentes características (3.1.2).

En el inciso (3.1.3) se muestra un procedimiento matemático para evaluar la producción de un concreto hidráulico en una empresa premezcladora en un lapso dado, expresado éste en función de su desviación estándar, utilizando en una sola estadística todos los valores obtenidos de los especímenes de control. Por otra parte, se determina el nivel de calidad del concreto producido, ponderando los índices de promedio y dispersión de las distribuciones parciales de mezclas con características iguales de diseño, en función del volumen entregado de esas mezclas, con respecto al volumen total.

El desarrollo que se ha tenido en los métodos de producción y colocación del concreto es sorprendente. Actualmente se cuenta con plantas -premezcladoras de alta capacidad, con camiones-revolvedora-bomba, y -- bombas que transportan el concreto a longitudes verticales mayores de 100 metros y horizontales superiores a 300 metros, lo que permite a -- los contratistas colocar y acabar volúmenes de concreto muy grandes; -- al extremo de que existen grandes estructuras que se terminan sin haber ensayado un solo cilindro de concreto convencional con su curado -- estándar a 28 días.

El período que transcurre entre la colocación del concreto y la evaluación de su calidad, puede reducirse considerablemente mediante métodos de prueba acelerada. El curado acelerado reduce el tiempo de espera de 28 días a uno o dos días, pudiéndose estimar confiablemente a este plazo la resistencia a la edad especificada; en las pruebas aceleradas de resistencia, el concreto es sometido a temperaturas altas para acelerar las reacciones químicas involucradas en la hidratación y endurecimiento (3.2).

Es importante entender, que generalmente existe una diferencia importante entre las características de resistencia del concreto de los cilindros de prueba, y del que se encuentra en la estructura; esto sucede debido a que las condiciones de construcción, acomodo o vibrado, -- temperatura, humedad, geometría, etc., son diferentes (3.3).

Se han desarrollado una gran cantidad de métodos para evaluar la calidad y resistencia del concreto en la estructura, estas pruebas pueden

clasificarse en dos grandes grupos: parcialmente destructivas y pruebas no destructivas. Del primer grupo se emplea principalmente la prueba de corazones, de penetración y de extracción; del segundo grupo se utilizan procedimientos que no afectan la integridad o propiedades del concreto (3.3.2).

BIBLIOGRAFIA

- * D. G. N. NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA CEMENTO Y CONCRETO PREMEZCLADO.

- * NORMAS DE CONSTRUCCION (Tomo VIII y IX parte segunda)
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
MEXICO, D.F. 1981.

- * MANUAL DE INSPECCION DEL CONCRETO (Tomo I, II y III)
JOSEPH J. WADDELL
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
MEXICO, D.F. 1984.

- * TECNOLOGIA DEL CONCRETO (Tomo I y II)
A.M. NEVILLE
IMCYC.
MEXICO, D.F. 1977.

- * CEMENTO PORTLAND.
FABRICACION, PROPIEDADES Y EMPLEO
AUSENCIO AGUILAR CALDERON
IMCYC.

- * CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO
(ACI E 704-4)
IMCYC NUEVA SERIE

- * EL CONCRETO EN LA OBRA (Tomo I, II y III)
IMCYC.
MEXICO, D.F., 1983

- * PRACTICAS RECOMENDABLES PARA DOSIFICAR
CONCRETOS DE PESO NORMAL.
(ACI 211.1-70)
IMCYC.