

A-138

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Ingeniería**

**Control y Verificación de Calidad de Concreto**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO CIVIL**

**p r e s e n t a :**

**ANTONIO SANTIAGO DEL CASTILLO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# C O N T E N I D O

- 1.- INTRODUCCION
  
- 2.- 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 Dosificadoras 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
      - 2.2.1.3 Cartas de control
  
    - 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
  
- 3.- 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

4.- Recomendaciones

## 1.- INTRODUCCION.

La idea fundamental para la redacción de este trabajo, ha sido la de proporcionar al Su perintendente de Planta de una Empresa productora de concreto premezclado, una guía - práctica y efectiva que le ayude en su trabajo diario.

En este texto, se plantean los problemas más comunes a los que día con día habrá que - enfrentarse, y se proponen soluciones que para los mismos han sido aplicados exitosamente.

Se intenta, con base a experiencias a nivel industrial de una concretera, que en su contenido suministre al lector, información de utilidad inmediata, y que ésta se transforme - en muchos metros cúbicos de concreto de buena calidad, durable y económico, que incesantemente siga bajando por el canalón.

Contiene en su primera parte ( Capítulo 2 ), los aspectos inherentes al control de la calidad durante la producción, haciéndolos extensivos desde la selección, control y suministro de los materiales, hasta la fabricación y transporte del producto. Se enfatiza en puntos tan importantes como: El manejo de los materiales, certificación, verificación y mantenimiento del equipo, pruebas físicas y cartas de control para materiales.

En su segunda parte ( Capítulo 3 ), se pretende a la vez que verificar el nivel de calidad del concreto producido, obtener datos que retroalimenten la información original, -- permitiendo en base a correcciones trascendentes optimizar tanto el costo como la calidad del producto. Se le dá en este mismo Capítulo interpretación al informe que un laboratorio de verificación presenta a su cliente, en donde hace la evaluación de la calidad -

del concreto que una premezcladora entregó en cierta obra. Se propone también, un sistema estadístico simplificado para evaluar el nivel de calidad del concreto producido en determinado lapso, así como la obtención de los principales parámetros que calificarán el grado de control durante la producción, aprovechando efectivamente para lo anterior, todos los resultados de resistencia en cilindros estándar de las diferentes clases del concreto muestreado.

Finalmente en el Capítulo 4, se resume a grandes rasgos cada uno de los temas tratados, destacando los aspectos más relevantes.

## 2.- CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCION.

Se iniciará este importante aspecto relacionado con la producción del concreto premezclado, enfatizando el hecho de que el control de calidad únicamente lo puede llevar a cabo el productor. Conocedor de las características de los materiales que emplea, de la realidad de sus sistemas de producción y de la capacidad y responsabilidad de su equipo humano. Lo anterior se anota debido a que en esta última década, han proliferado de manera sorprendente los autodenominados Laboratorios de Control de Calidad, cuya actividad consiste en estar presentes en la obra durante los colados, obtener cilindros de concreto, emitir un reporte de resultados que se supone fidedignamente a la calidad del concreto colocado. Esto en general es una completa pérdida de tiempo y de dinero por la forma en que se lleva a cabo actualmente, debido al hecho de que por lo general los resultados tienen poco que ver con el concreto de la estructura. En el mejor de los casos, el ingeniero constructor que recibe el reporte del laboratorio queda muy satisfecho ya que tiene un papel con números o cifras en su archivo, los cuales supuestamente indican las propiedades del concreto en la estructura.

Esta situación se repite diariamente y miles de pruebas de concreto se realizan a cada instante y repito son muy altas las posibilidades de que muy pocas representen la calidad del concreto del cual fueron obtenidas.

Se analizará detalladamente esta situación, así como sobre el real significado del control de calidad, la manera en que debe llevarse a cabo la importancia de que exista. No de que se haga creer que lo está llevando a cabo, quien nada puede hacer al respecto.

El concreto como se sabe, es una roca artificial a la cual se le puede diseñar su resistencia a la compresión, y en función de este índice es que principalmente se le requiere. Paradójicamente, de este material, en el momento en que se produce, entrega y coloca en las formas se desconoce su resistencia a la compresión, ya que se irá incrementando gradualmente a través del tiempo ( si todo va bien ) y cuatro semanas después un alto porcentaje de ésta se alcanzará. 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 obra son sorprendentes, y suponiendo que se hubiese colocado este concreto en la cimentación de un edificio, seguramente se llevarían construidos más de un entrepiso.

En ese momento no se le puede regresar simplemente el producto al fabricante, ni a su vez éste modificarlo o venderlo como un producto de menor calidad. Por el contrario, esto redundará en reparaciones costosas, tal vez demoliciones, en atrasos importantes de obra y en fin en 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.

En este momento habrá quien piense que lo anteriormente expuesto viene a justificar la existencia de los mencionados Laboratorios de Control de Calidad, no obstante se considera que estos en la situación descrita muy poco pueden ayudar, y a grandes rasgos se explica a continuación:

- La frecuencia de muestreo recomendada en especificaciones, generalmente es tal, - que de existir en el suministro de concreto revolturas que no cumplan con las caracte-

rísticas solicitadas, estas difícilmente podrán ser detectadas en su totalidad, a menos - que se muestreara todo el concreto, lo cual resultaría mucho más costoso que protegerse solicitando un concreto de resistencia sobrada.

- Esta incidencia de bajos resultados en las mezclas de concreto, obedece a que existe una gran variabilidad o dispersión en la calidad de los concretos debido fundamentalmente a variaciones en las características de los materiales, en deficientes equipos ó procedimientos de medición de los componentes, en personal no capacitado y negligente, y ante esto ¿ qué puede hacer el Laboratorio de Control ? ¿ cómo es que controla la calidad del producto ? . Es claro que nada puede hacer.

- Hay un tercer aspecto interesante, y consiste en que generalmente como Director Técnico de estos laboratorios, se tiene a personas de reconocido prestigio, algunos con estudios de post-grado, de cuya capacidad y conocimientos no se duda. Pero que pasa - con el personal que tienen en la obra, con el que obtiene las muestras, fabrica los cilindros, con el que los descimbra, transporta, identifica, ensaya. Aquí también se puede decir que es generalmente personal no calificado y desgraciadamente en esta - gente es en quién radica el resultado final de los cilindros. En síntesis, la experiencia ha mostrado que en la mayoría de los casos el trabajo de estos laboratorios culmina en falsas alarmas, las cuales también ocasionan pérdida de tiempo y dinero.

Con lo anterior simplemente se desea conscientizar a quien lea este trabajo, de que toda la responsabilidad está en quién produce el concreto, y el fabricante es quién debe estar capacitado técnica e industrialmente para producir un material confiable, que cumpla con las especificaciones de calidad, en cuanto a índices de resistencia, variabilidad, durabilidad, manejabilidad, etc., porque aquí, en donde se encuentra la causa,-

es en donde se puede controlar los efectos.

## 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 una producción a nivel industrial es decisivo y crítico. La razón salta a la vista, por citar un ejemplo, una planta premezcladora de regular tamaño tiene una capacidad de 50 m<sup>3</sup> por hora, esto es, que en un turno producirá del orden de 400 m<sup>3</sup> de concreto. Supongase que la báscula de cemento sufrió un desajuste y que la cantidad de cemento adicionada por m<sup>3</sup> se vió reducida en un 10 por ciento. Esto en cuanto a las características físicas del concreto, difícilmente se notaría, únicamente se presentaría una ligera reducción en el agua requerida para la mezcla, equivalente a una variación del orden de 1 por ciento en la humedad de los agregados, lo cual es sumamente normal y por consecuencia pasaría inadvertido. Ahora bien, en lo que a resistencia respecta, por principio de cuentas todo el concreto estaría fuera de especificaciones, esto es, que el nivel de calidad del mismo sería menor al solicitado quedando más ó menos en las siguientes condiciones:

- 1.- El 50 por ciento aproximadamente de este concreto, ó sea, 200 m<sup>3</sup> no alcanzaría a 28 días la resistencia de diseño.
- 2.- El 20 por ciento del mismo presentaría valores menores a  $f'c$  menos 50 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual lo sitúa por debajo del límite inferior mínimo permitido, para concreto requerido para utilizarse en estructuras diseñadas elásticamente, y como consecuencia todos los elementos en donde este 20 por ciento del concreto se hubiera colocado, -

deberían reforzarse ó bién demolerse. Lo peor del caso es que de haberse presentado realmente esta falla en el equipo de medición difícilmente se podría detectar rápidamente, ya que apoyandose en el resultado a edades iniciales de cilindros se necesita al menos de tres días, empleando curado estándar.

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 mezclado 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 compartimentos separados adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños del agregado grueso -

utilizado, Cada compartimento del depósito deber 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. Esta tolva no debe permitir acumulaciones de residuos y de materiales que puedan modificar la tara.

**Báscula de Agregados.**- Cuando los agregados se pesen individualmente, la cantidad indicada por la tolva-báscula debe tener una tolerancia de  $\pm 2$  por ciento del peso requerido. Cuando los agregados se pesen en forma acumulada y su peso sea del 30 por ciento o más de la capacidad de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de  $\pm 1$  por ciento y si el peso es menor del 30 por ciento la tolerancia máxima debe ser de  $\pm 3$  por ciento de la capacidad total de la báscula ó de  $\pm 3$  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  $\pm 1$  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.

Bajo circunstancias especiales, aprobadas por el comprador, el cemento puede ser dosificado en bolsas de peso estándar previamente verificado; no se debe usar fracciones de bolsa de cemento a menos que se determine el peso del contenido.

**Báscula de Agua.**- En el agua de mezclado se considera el agua que se adiciona a la

revoltura, el hielo que se le agrega, el agua que esté 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  $\pm 1$  por ciento. El hielo agregado se pesa. 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 del agua deben estar arreglados de tal forma que las mediciones no sean afectadas por verificaciones de presión en la tubería de abastecimiento del agua y los tanques de medición deben estar equipados con vertederos y válvulas para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

Dosificadoras de Aditivo.- Los aditivos en polvo se pesan y los aditivos en pasta ó líquidos se pueden medir por peso o por volumen con una tolerancia de  $\pm 3$  por ciento de la cantidad requerida, incluyendo las puzolanas 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 vertederos 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 resortes. Se pueden aceptar equipos para pesar ( eléctricos, hidráulicos, celdas de carga ) diferentes a las básculas de balancín ó 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 revolver los hasta lograr una mezcla uniforme, homogénea. Existe una gran variedad de mezcladoras, pero de acuerdo a su funcionamiento pueden clasificarse en dos categorías:

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

En los equipos que mezclan por caída libre ó gravedad, unas aspas elevan el material - hasta cierto nivel, y lo dejan caer sobre el resto de la revuelta, 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 varíe de semiplástica a fluida, esto es, de revenimiento de 5 cms. a - 14 cms.

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 efecto de amasado. De esta clase son las revolvedoras llamadas de tazón ( panmixer ) ó de turbina las cuales son muy diferentes para mezclas de consistencia seca y permiten producir concreto con agregado máximo hasta de 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 dé-

bil 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 masa.

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 aproximada

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

Siendo:

n = Velocidad de rotación en r.p.m.

D = Diámetro máximo del tambor en metros.

- Tiempo óptimo de mezclado aproximado.

$$t = k D$$

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 horizontal y  $k = 120$  para las de eje inclinado.

Para lograr la uniformidad en el concreto, deben cumplirse ciertos requisitos, los cuales se especifican en la norma nacional D. F. N. C-155 Tabla 6, la cual se reproduce a -

continuación:

TABLA 6.- REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DE MEZCLADO DEL CONCRETO

P r u e b a .	Diferencia máxima permisible entre resultados de prueba con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga. ( * )
Peso volumétrico ( determinado según la norma DGN-C-162 en vigor ) en kg/M3.	15 kg/M3.
Contenido de aire en % del volumen del concreto ( determinado según norma DGN-C-157 en vigor ) para <u>con</u> cretos 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 por ciento del peso de la muestra.	6 %
Promedio de la resistencia a la <u>compresión</u> a 7 días de edad de cada muestra. Expresada en por ciento ( ** )	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.

Mezcladoras Estacionarias.- Deben estar equipadas con una ó más placas metálicas en las cuales esté claramente marcada la velocidad de mezclado de la olla ó de las aspas y la capacidad máxima en términos de volumen de concreto mezclado, cuando se usan para el mezclado completo del concreto. 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, deben hacerse las pruebas de uniformidad marcadas en la Tabla 6. Cuando no se hacen pruebas de uniformidad del mezclado, el tiempo aceptable para revolvedoras que tengan una capacidad de 1.0 metros cúbicos ó 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.

Cuando se hayan hecho pruebas de uniformidad de mezclado y las mezcladoras sean cargadas a la capacidad estipulada para esas circunstancias en particular, el tiempo de mezclado aceptable puede ser reducido al punto en el cual se pueda lograr un mezclado satisfactorio.

Camiones Mezcladores y Agitadores.- Deben colocarse en un lugar visible del camión -

mezclador ó agitador las placas de metal en las cuales estén claramente marcadas y certificadas las capacidades de la unidad, en términos de volumen, como mezclador y como agitador a la velocidad mínima de rotación de la olla.

Cuando el concreto sea mezclado totalmente en el camión mezclador, se requiere de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado especificado ( normalmente de 10 a 12 r. p. m. ), y el volumen del concreto no debe exceder del 63 por ciento del volumen total de la unidad. Cuando el camión se utiliza únicamente como agitador, esto es, que el concreto se ha mezclado inicialmente en la planta, se puede cargar hasta con un 80 por ciento de su capacidad.

No existen reglas de carácter general aplicables a todos los tipos de revolvedoras en cuanto al orden en que conviene vaciar los distintos ingredientes dentro de la revolvedora no obstante, en la mayoría de los casos se recomienda seguir las siguientes prácticas:

- Los agregados deben reunirse en una sólo tolva una vez que hayan sido pesados, con el objeto de que se introduzcan simultáneamente a la revolvedora. En el caso de las plantas no mezcladoras, la descarga sobre la banda que transportará los materiales a la olla, deberá hacerse igual.

- Es recomendable agregar el cemento junto con los agregados para evitar que se formen grumos.

- 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.

- Los materiales sólidos deben vaciarse gradualmente para que se produzca una corriente

más ó menos uniforme de todos ellos hacia el interior de la revolvedora, la cual debe estar girando durante la operación. No es conveniente el vaciado súbito de ninguno de los ingredientes.

- Los aditivos deben emplearse de preferencia, en estado líquido y ser adicionados con el agua de mezclado, en el caso de que esto no sea posible, deben adicionarse paralelamente al flujo de descarga del agua. Cuando haya que adicionar algún aditivo en polvo puede mezclarse con los agregados y en el caso de los aditivos del tipo del polvo de aluminio, este debe mezclarse previamente con el cemento.

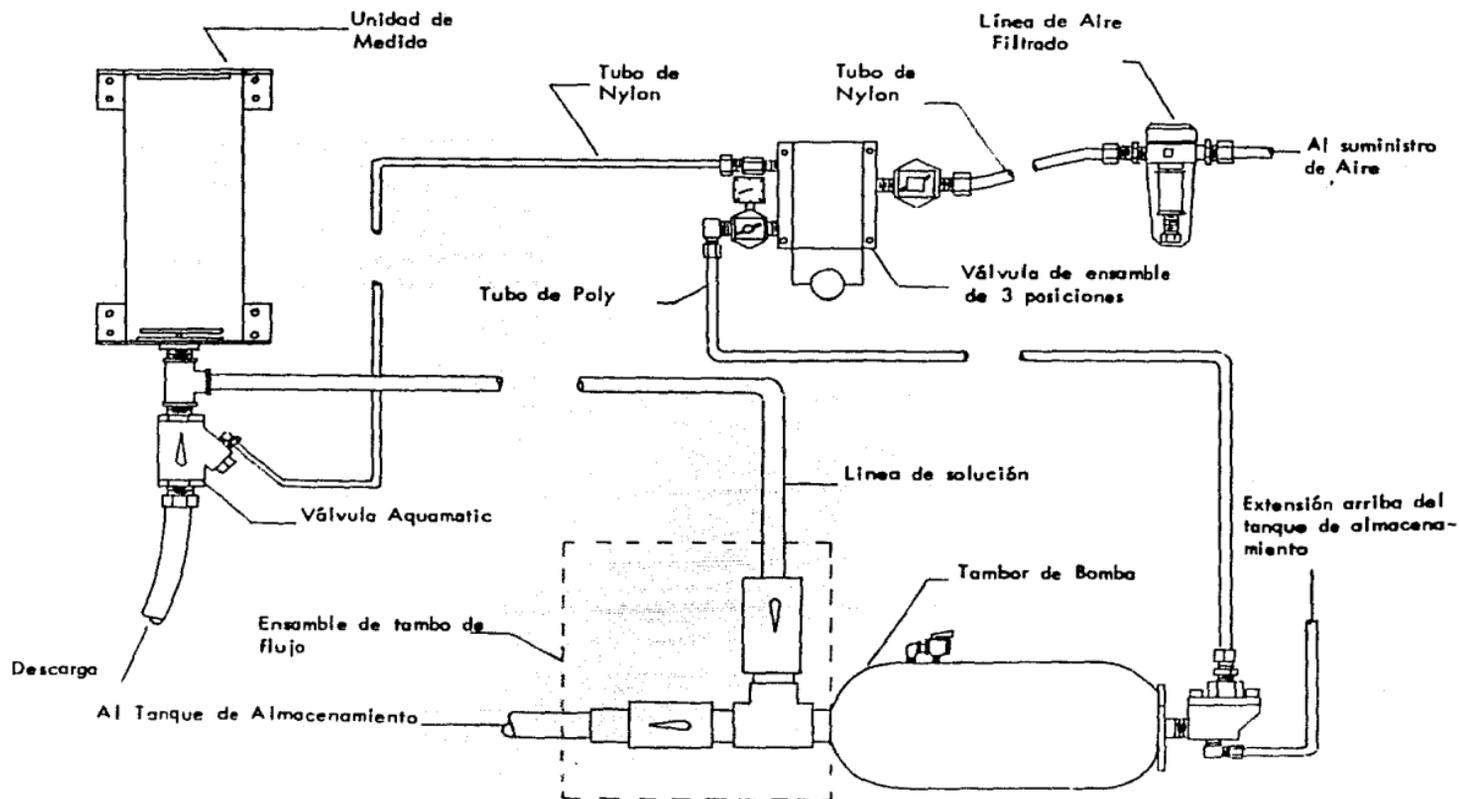
### 2.1.3 DOSIFICADORAS DE ADITIVOS.

Existen una diversidad de equipos y procedimientos para dosificar los aditivos, de acuerdo a la presentación de los mismos. Este aspecto se trata en 2.2.3.4, así mismo, la exactitud requerida en los equipos usados en la dosificación se anotó en 2.1.1.

En este inciso, y debido a que los aditivos más comunmente usados, se encuentran en estado líquido, se tratará de sintetizar los problemas habituales que pueden tener los equipos dosificadores.

Para ilustrar lo anterior, 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 él mismo.

### DIAGRAMA EQUIPO DOSIFICADOR 3 POSICIONES



PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO EN 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 de la válvula de 3 posiciones a la válvula de alivio en la bala no está conectada ó 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) " Chek " atascado.

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) Efecto de sifón.

3.- LA BOTELLA MEDIDORA NO DESCARGA.

Causas:

- a) Funcionamiento defectuoso de la válvula de alivio en la botella medidora

ra.

- 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.

Debe hacerse cada dos meses, mínimo.

## 2.- VALVULA DE 3 POSICIONES.

- a) Desarmar y limpiar todas las partes.

( una vez al año )

## 3.- LINEAS DE AIRE Y CONEXIONES.

- 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 DEL ADITIVO. ( a un lado del tanque de almacenaje ).

- a) Desarmar y limpiar la manguera interiormente cuando menos dos veces al año.

Cambiar cuando esté decolorada ó quebradiza.

## 5.- BOTELLA CALIBRADORA.

- a) Desarmar la botella calibradora y limpiar el tubo de plástico.

( cada seis meses cuando menos )

## D O S I F I C A D O R E S

## MANTENIMIENTO.

BOTELLA CALIBRADORA. ( carga y descarga a presión )

- 1.- Si la botella tiene un exceso de suciedad en el interior del tubo plástico, la unidad deberá ser desmontada y limpiada con agua y jabón.
- 2.- Verifique siempre que la escala esté en posición correcta y que sea la adecuada.
- 3.- La válvula de alivio ( colocada en el dispositivo superior de presión ), deberá ser limpiada con regularidad, el no hacerlo producirá dosificaciones inexactas.  
 La válvula de alivio puede desarmarse quitando los cuatro tornillos, una vez desarmada hay que lavar las dos partes del cuerpo y el diafragma entre las dos partes del cuerpo.  
 El proceso de limpieza puede llevarse a cabo sin desmontar la unidad. ( Válvula de alivio ) de la botella calibradora.  
 La válvula de alivio en la bala es exactamente igual y su mantenimiento es el mismo.
- 4.- Válvula de Seguridad. Para limpiarla, procédase a desmontarla del cuerpo de la botella. Quítese la tuerca tapa, quedando al descubierto un tornillo de ajuste. Quítese el tornillo de ajuste, el resorte y el vástago de la válvula. Límpiase con agua jabonosa todo, excepto el empaque del tornillo de ajuste. Procédase a armar nuevamente la válvula, colocando las piezas en el orden inverso: vástago bien centrado, resorte tornillo de ajuste apretando hasta que no deje escapar aire a la presión normal de trabajo: incrementese la presión en 10 - 20 lbs. y obsérvese que escape el aire por la válvula de seguridad, si no es así, aflójese el tornillo para lograr el ajuste.

Redúzcase a presión normal de trabajo e instálase la cubierta del tornillo.

### 5.- Filtro de Aire ( CODE F 49000 )

#### Mantenimiento:

Drenar el filtro aflojando el tornillo inferior siempre que el nivel del líquido contenido en el vaso llegue a la parte inferior del elemento filtrante

Cualquier acumulación, capa de suciedad ó condensación en el elemento filtrante ó caída a presión en la línea, indica que es necesario efectuar una limpieza del elemento. Para limpiar despresurice las líneas, desatornille el vaso, desatornille el elemento filtrante y lávelo con alcohol desnaturizado, sopletéelo y vuélvalo a armar.

NOTA: El vaso solamente podrá ser limpiado con agua y jabón neutro.

PRECAUCION: Nunca use Tetracloruro de Carbono, Thiner, Acetona, Gasolina ó Solventes para limpiar cualquier parte del filtro.

TANQUES: Limpiar tanques con agua una vez al año.

Para limpiar el tanque, quítese el tapón macho de la parte inferior, vacíe agua hasta que el líquido que salga sea de color claro y todo el sedimento inferior haya salido.

## 2.2 CONTROL DE MATERIALES.

Como se ha mencionado anteriormente, es aquí en el control de los materiales en donde realmente se debe implantar el control de calidad en la producción de concreto. A nuestro modo de ver, 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 ó variaciones normales de estos se han tomado en cuenta en la dosifica-

ción, 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 obtener se logrará.

Nuevamente se hace énfasis en que todos los ensayos que se efectúen con probetas, obtenidas de muestras tomadas de la producción, servirán como verificación de que se están haciendo las cosas bien y ciertamente para efectuar correcciones, que modifiquen tendencias en cuanto a promedios ó variaciones mayores a las estimadas. En otras palabras, permitirá mejorar u optimizar los índices de calidad, pero si no se ha tenido en determinado momento el control necesario de la calidad de los materiales, todo aquel concreto que se haya producido en estas condiciones definitivamente se apartará de lo deseado y no podrá corregirse. Asimismo, no hay forma de estabilizar un nivel de calidad propuesto, si se tienen en los mismos resultados de los ensayos valores tan variables y contradictorios, como sucede cuando se ha utilizado indiscriminadamente diferentes tipos de materiales -- sin el conocimiento ni control de los mismos. Y es en estas circunstancias cuando se tiene la terrible incertidumbre de no saber que clase de concreto se ha producido y que clase de concreto se producirá.

### 2.2.1 CONTROL DE CEMENTO.

Existe la idea generalizada de que el cemento es el material constitutivo del concreto -- que menos varía. En la mayoría de las obras en donde se le emplea para fabricar concreto jamás se analiza, se podría decir que se le tiene una confianza ilimitada. Tal vez -- por la magnitud de las fábricas de cemento, y por el control que se supone se ejerce en su producción, ó tal vez porque los contenidos de cemento usados en la producción del concreto en obra son tales que garantizan ampliamente la resistencia del mismo y en con

secuencia la variación pasa desapercibida. Además de las variaciones normales que pudiera presentar el cemento, se tienen otras tal vez más importantes, como es el caso de -- emplear cemento viejo e hidratado, utilizar indiscriminadamente diferentes marcas en una misma mezcla, etc., y aún los efectos que esto pueda tener generalmente no se registran. En el caso de una compañía premezcladora, esto es totalmente diferente.

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

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

Silicato dicálcico	( $2\text{CaOSiO}_2$ )	=	$\text{C}_2\text{S}$
Silicato tricálcico	( $3\text{CaOSiO}_2$ )	=	$\text{C}_3\text{S}$
Aluminato tricálcico	( $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ )	=	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	( $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	=	$\text{C}_4\text{AF}$

Cada uno de los cuales tiene influencia definitiva en las características del cemento, al variar en más ó menos en 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  $\text{C}_3\text{S}$ , es decir, éste aumenta o decrece en tanto que el  $\text{C}_2\text{S}$  generalmente presenta el comportamiento inverso. Como es sabido, el silicato tricálcico  $\text{C}_3\text{S}$  es el que da la resistencia a edades tempranas en tanto que la influencia del silicato dicálcico  $\text{C}_2\text{S}$  se presenta a edades mayores, generalmente se empieza a sentir su efecto después de los 14 días.

Por decir algo, en el cemento Tipo 1, el porcentaje del  $\text{C}_3\text{S}$  es del orden de un 50 por

ciento, en estas condiciones las resistencias a compresión en cubos según la norma D.G. N. C-1 a 24 horas son del orden de 100 kg/cm<sup>2</sup> y a 28 días de 350 kg/cm<sup>2</sup>.

Se dan casos en que los contenidos de estos compuestos varían hasta igualarse en un 35 - por ciento, teniéndose a 24 horas, sin variar el tipo de ensayos, resistencias menores a - 50 kg/cm<sup>2</sup> y en algunos casos a 28 días superiores a 400 kg/cm<sup>2</sup>.

Esto aparentemente pudiera no tener mayor importancia, ya que inclusive se esta dispo-- niendo de un cemento que potencialmente tiene mayor capacidad de adquirir resistencia. El problema se presenta cuando en el laboratorio de materiales de una premezcladora se - detecta que el cemento que se está usando o se va a usar, a 24 horas está dando resis-- tencias de menos de 50 kg/cm<sup>2</sup>.

En este momento no se puede saber si se recuperará a edades mayores, generalmente no - se dispone del análisis químico respectivo y se tiene por delante una producción del día - del orden de 2,000 m<sup>3</sup>. Cabe aclarar que este valor de baja resistencia a edades inicia- les, se puede conservar en esta proporción a edades mayores, en el caso de que la mate\_ ria prima del cemento haya sido defectuosa, ó de que por error se haya suministrado un - cemento de tipo diferente, etc.

La decisión que en este instante debe tomar el responsable puede repercutir en pérdidas - muy grandes para la compañía, si no es la adecuada.

Cabe aclarar que es muy difícil poder evaluar la calidad de los cementos usados antes de que estos se empléen en la producción normal, debido a que se requeriría una capaci - dad de almacenamiento grandísima y se tendría que realizar también una gran cantidad - de pruebas.

Otro 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 ende su adquisición de resistencia a edades iniciales, disminuyendo ésta a edades posteriores. En el caso contrario los efectos son inversos.

Definitivamente y a nuestro modo de ver, 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 fábricas, la razón es meramente comercial y se apoya en lo riesgoso que puede ser " Poner todos los huevos en una sola canasta ", pues bien, lo que necesariamente debe hacerse, es procurar que cada marca diferente de cemento se emplee en determinadas plantas y que no 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 la 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 de cemento en alguna marca en particul

lar, 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 prácticamente imposible establecer en que parte se ha colocado esta mezcla.

En este aspecto habrá quien piense que este ahorro no es substancial, para lo cual se comenta el siguiente ejemplo, que además es muy conservador.

Supóngase que un cemento con respecto a los demás, permite ahorrar un 5 por ciento en su consumo para lograr un mismo nivel de resistencia. Este cemento se está empleando en un par de plantas cuya producción diaria promedio es de 300 m<sup>3</sup>, lo que representa - - aproximadamente 15,000 m<sup>3</sup> mensuales en ambas.

Tomando en cuenta que el consumo promedio de cemento por m<sup>3</sup> es de 300 kg., el 5 por ciento equivaldría a un ahorro de 15 kg. de cemento por metro cúbico de concreto, de tal suerte que:

$$0.015 \text{ Tons.} \times 15,000 \text{ M}^3 = 225 \text{ Tons.}$$

- Considerando que el precio a granel del cemento por tonelada sea de: \$ 1,000.00 se tendrá:

$$225 \text{ Tons.} \times 1,000.00 = \$ 225,000.00$$

De ahorro mensual, nada despreciables, que no se podría obtener si se mezclara este cemento con otras marcas.

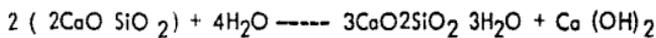
La intención que se tiene al hablar sobre el control de calidad del cemento, en síntesis es que debido a que este material corresponde al de mayor variación y mayor costo de los componentes del concreto, debe de manejarse y controlarse técnicamente de tal suerte que

se optimice su empleo. Asimismo, debe ponerse especial atención en las diferentes pruebas de control que en las premezcladoras deben de implantarse, tanto físicas como químicas, con la seguridad de que esta inversión representará utilidades adicionales y permitirá inclusive, en un momento dado, deslindar responsabilidades.

A continuación se describen las principales pruebas que se practican al cemento, y las que a nuestro modo de ver, debén realizarse sistemáticamente.

### 2.2.1.1 PRUEBAS FISICAS.

Resistencia Mecánica.- En el momento en que entrán en combinación el cemento y el agua se inicia una serie de reacciones químicas que conducen a la adquisición de resistencia, los silicatos de calcio ( $C_3S$  y  $C_2S$ ) se hidratan formando disilicato tricálcico - hidratado ( $C_3S_2H_3$ ) y liberando cierta cantidad de hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) conforme a las siguientes reacciones:



El  $3CaO_2SiO_2 \cdot 3H_2O$  es una pasta coloidal que se conoce con el nombre de tobermorita y aunque no es el producto final de la hidratación, se separa en forma de gel, el cual interviene directamente en la adquisición posterior de resistencia, conforme el proceso evoluciona la pasta va adquiriendo resistencia mecánica, lo cual le permite resistir fuerzas externas sin que se vea afectada.

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 resistencia. 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/cm<sup>2</sup>, el cemento tipo V apenas ha alcanzado 100 kg/cm<sup>2</sup>. A los 28 días de edad la diferencia 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/cm<sup>2</sup>, en tanto que el tipo V la ha aumentado en más del doble. Finalmente a los 90 días se pueden igualar sus resistencias y a partir de ese momento el cemento tipo V sobrepasa al cemento tipo III, debido básicamente a que por haberse hidratado más lentamente su cristalización fué mejor.

Otro de los factores que pueden influir en sus características mecánicas son la temperatura de sinterización, el proceso de calcinación y enfriamiento, el método y la finura de la molienda, etc.

La determinación de la resistencia a la compresión del cemento, se hace conforme a la norma DGN-C1 y consiste en elaborar especímenes de mortero en forma cúbica de 5 cm. por lado con una relación agua-cemento constante de 0.485 y utilizando un agregado estándar que es arena de Ottawa, norma DGN-C61.

Estos cubos deben almacenarse a temperatura constante y permanecer en condiciones de curado estándar hasta el momento de su ensaye.

Los resultados a edades iniciales, para efecto de control en la resistencia del concreto, deben encontrarse dentro de cierto orden, no obstante es conveniente observar que a veces el orden de las resistencias finales no corresponde al de las iniciales, debido a variaciones en las cantidades de los componentes potenciales, ver inciso 4.2.1.

Es importante hacer notar, que debido a los avances tecnológicos en la industria del cemento, el nivel de calidad en lo que a resistencia se refiere, actualmente se encuentra muy por encima de los límites inferiores permitidos en especificaciones. Por ejemplo, para cemento tipo I norma DGN-C1 a 24 horas no marca un mínimo y a 3 días indica 85-kg/cm<sup>2</sup>. La realidad es que el cemento tipo I, desde hace varios años, a 24 horas presenta resistencias superiores a 85kg/cm<sup>2</sup> y a 3 días los valores son mayores de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

En lo que a esta prueba se refiere, se considera que en una compañía premezcladora, deben elaborarse diariamente cubos de mortero para ensayarlos a 24, 48, 72 horas y 7, 14 y 28 días, por cada marca de cemento que se esté utilizando. Esto permite elaborar gráficas con los valores conforme se van obteniendo y detectar en un momento dado tendencias, que cuando se presentan conviene comparar entre sí con otros índices más, como son la finura y la composición química. Asimismo, una recomendación que conviene tener presente, es que al obtener las muestras diarias de cemento, con las que se harán todos nuestros ensayos, estas sean de 10 a 12 kg. para que permita guardar una cantidad suficiente durante el tiempo en que se pudieran necesitar para la rectificación de alguna prueba, o bien, como evidencia ante la cementera de las características ó deficiencias

que presenta el cemento.

**Finura.**- En incisos anteriores se ha hablado a grandes rasgos sobre la finura del cemento de como varía ésta para diferentes tipos de cemento y de su influencia; Únicamente se agregará que la finura tiene efectos positivos pero también indeseables. Al aumentar la finura en un cemento, se tiene un número mayor de partículas por unidad de peso que consecuentemente ofrecen una mayor superficie, de ahí que la finura se exprese en unidades de área por unidad de peso. Esto ocasiona una mayor demanda de agua, lo cual es negativo ya que para una misma manejabilidad en el concreto debe emplearse relaciones agua-cemento mayores. Asimismo, se presenta una hidratación más rápida acompañada de una generación de calor mayor, que produce contracciones importantes y requiere de atención especial en el curado.

En concreto con contenidos altos de cemento y en condiciones críticas de temperatura, se tienen graves problemas por pérdida de revenimiento en el período de fraguado. Las ventajas son adquisición más rápida de resistencia, un menor sangrado y una mayor plasticidad de las mezclas de concreto.

El ensaye de finura consta de dos determinaciones: La obtención del porcentaje de cemento en peso, que se retiene en la Malla No. 325 norma DGN-C-49, y la segunda, la medición de la superficie específica, que corresponde a la superficie total de partículas contenidas en un gramo de cemento, suponiéndolas esféricas. DGN-C-56.

La determinación en la Malla 325 nos sirve para conocer la presencia de partículas mayores, lo que pudiera deberse a hidratación en el cemento ó a problemas en la moliente en algunos casos en cementos compuestos en donde el clinker y puzolanas, escorias,

etc., se muelen juntos no obstante presentan durezas diferentes.

Para determinar la superficie específica, generalmente se emplea el aparato " Blaine " ó de permeabilidad al aire. Este procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de aire a través de un lecho granular el cual a sido compactado de acuerdo a ciertas condiciones, estableciéndose una relación entre el área de las partículas que constituyen el lecho, y tiempo necesario para que el flujo de aire lo atraviese.

Este procedimiento es poco costoso, rápido y confiable, asimismo, proporciona un índice muy valioso para establecer comparaciones entre diferentes marcas y diferentes producciones de una misma marca.

Como en el caso del ensaye a compresión, se considera que esta prueba debe hacerse -- diariamente a cada una de las marcas de cemento que se estén empleando.

Tiempo de Fraguado.- El fraguado de la pasta de cemento es un proceso físico-químico -- por medio del cual existe un cambio de plasticidad inicial de la misma a una cierta rigidez y firmeza.

Este proceso se inicia a partir del momento en que el cemento se combina con el agua -- y termina cuando la pasta ha adquirido rigidez y está en condiciones de soportar una determinada presión.

Se considera que la pasta de cemento empezará a adquirir resistencia a partir de que ésta haya fraguado, sin embargo, es difícil precisar en que momento se termina la etapa -- de fraguado y se inicia la de adquisición de resistencia. Es por esto que la duración de la etapa de fraguado está sujeta a medios de apreciación un tanto arbitrarios.

Al hidratarse inicialmente el  $C_3A$  y el  $C_3S$ , se inicia el fraguado .

El  $C_3A$  tiene una reacción muy violenta que conduciría a un fraguado de la pasta instantáneo, es por esto que al cemento se añade yeso, el cual tiene la función de regular el tiempo de fraguado a límites especificados.

Para medir el tiempo de fraguado, se acostumbra hacerlo por medios físicos de penetración ó indentación sobre una pasta de cemento de una consistencia normalizada, que permite observar la forma en que ésta va adquiriendo rigidez a medida en que el tiempo -- transcurre.

Principalmente existen dos procedimientos, el Vicat, norma DGN-C-59 y el Gillmore, - norma DGN-C-58.

El aparato de Vicat utiliza una aguja que penetra en la pasta y determina el grado de - rigidez, razón por la que se obtiene únicamente el dato del tiempo de fraguado, correspondiente al momento en que la aguja deja de penetrar.

El aparato de Gillmore emplea un par de agujas, cuya indentación sobre la superficie de la pasta señala el avance del fraguado. Siguiendo este procedimiento se obtienen dos da - tos, uno correspondiente al tiempo de fraguado inicial, que es cuando la aguja más gruesa y de menor peso deja de producir huella sobre la pasta, y el otro corresponde al tiempo de fraguado final, en el que siguiendo el mismo procedimiento se emplea una aguja - de menor sección y de mayor peso.

Para efectos de verificación de estos tiempos de fraguado en el Laboratorio, las pruebas - deben realizarse en condiciones constantes de temperatura y humedad.

De acuerdo a los diferentes tipos de cemento, se especifica los tiempos mínimos y máximos permitidos. En este aspecto también existe diferencia entre los tiempos reales y los marcados.

El tiempo de fraguado ya en el concreto varía substancialmente con respecto a los tiempos en la pasta, debido a causas tales como una relación agua-cemento mucho mayor, a que el concreto se mantiene en agitación, a que el volumen de pasta en función del total, es únicamente una fracción, etc. No obstante, es uno de los aspectos que más debe vigilarse, ya que en las diferentes temporadas del año, para distintas clases de concreto, es muy usual que esto se regule con el empleo de un aditivo.

Esta prueba de tiempos de fraguado, debe realizarse periódicamente en el Laboratorio, - en pasta de cemento, asimismo debe obtenerse en el campo el comportamiento real en el concreto, que es el que interesa, esto generalmente se realiza con penetrómetros manuales, conforme a la norma DGN-C-166, por medio de la resistencia a la penetración.

Fraguado Falso.- Se dice que un cemento presenta fraguado falso, cuando a los pocos minutos de entrar en contacto el agua con el cemento, el concreto adquiere una rigidez semejante a la del fraguado final, característica que se elimina remezclando el concreto sin necesidad de adicionar mayor cantidad de agua. Esto se debe a que durante la molienda, el yeso se deshidrata cuando la temperatura es demasiado alta ( más de  $120^{\circ}\text{C}$  ).

En el caso del concreto premezclado, esto no viene a constituir problema alguno, ya que por el propio sistema de transporte, en caso de presentarse este fraguado falso, se romperá necesariamente.

Sanidad.- Esta característica se refiere a la estabilidad dimensional y durabilidad de la-

pasta endurecida en el curso del tiempo, la cual tiende a experimentar cambio de volumen, al encontrarse en condiciones propicias de humedad y temperatura.

En ocasiones pueden presentarse expansiones importantes que conducen a la desintegración del concreto, esto generalmente es debido a contenidos altos de óxido de magnesio MgO en forma libre, los cuales al combinarse con el agua presentan expansión a corto plazo, en lo que al CaO se refiere y a largo plazo ( años ) debido al MgO.

El alto contenido de estos óxidos en el cemento, superiores al 2 por ciento resulta perjudicial, y esto es debido a causas tales como: exceso de cal, premolienda y mezcla insuficiente de materias primas, calcinación inadecuada, etc.

La forma de valorar este peligro potencial en el cemento, es fabricando especímenes prismáticos de pasta de cemento, los cuales se dejan endurecer durante 24 horas con curado normal de 23 °C, al cabo de este tiempo se someten algunas horas a un curado autoclave bajo acción de presión y temperatura elevada. De contener el cemento un exceso de estos componentes que potencialmente lo hacen insano, los especímenes acusarán incrementos en sus dimensiones, fuera de lo normal, llegando en algunos casos a desintegrarse. De acuerdo a las especificaciones, el valor máximo de expansión permitido es de 0.8 por ciento.

Las pruebas físicas aquí anotadas, son las que sistemáticamente deben realizarse, ya que de una manera sencilla y económica proporcionan los principales índices que definirán en un momento dado el comportamiento del cemento.

#### 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. Mostramos a continuación una par de tablas; la primera se encuentra en el Manual de Concreto de la S. R. H. y muestra la influencia de los compuestos químicos en las propiedades del cemento Portland. La segunda indica los requisitos químicos de los diferentes tipos de cemento Portland.

REQUISITOS QUIMICOS DEL CEMENTO PORTLAND

	T I P O S				
	<u>I</u>	<u>II</u>	<u>III</u>	<u>IV</u>	<u>V</u>
Oxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) mínimo en porcentaje	-	21.0	-	-	-
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) máximo, en porcentaje	-	6.0	-	-	-
Oxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) máximo, en porcentaje	-	6.0	-	6.5	-
Oxido de magnesio (MgO) máximo, en porcentaje	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Anhídrico sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	*	*	*	*	*
Pérdida por calcinación máximo, en porcentaje	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Residuo insoluble máximo, en porcentaje	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico (3CaO.SiO <sub>2</sub> ) máximo, ** en porcentaje	-	-	-	35	-
Silicato dicálcico (2CaO.SiO <sub>2</sub> ) mínimo, ** en porcentaje	-	-	-	40	-
Aluminato tricálcico (3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) máximo, ** en porcentaje	-	8	15	7	5
Suma del silicato tricálcico y aluminato tricálcico (3CaO.SiO <sub>2</sub> ) + (3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), máximo***, en porcentaje	-	58	-	-	-
Aluminoferrito tetracálcico más dos veces el aluminato tricálcico (4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), + 2(3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ó solución sólida (4 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2 CaO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), máximo, en el porcentaje	-	-	-	-	20.0
Alcalis	****	****	****	****	****

- \* La tabla de anhídrido sulfúrico (  $SO_3$  ) en el cemento, se regulará de tal manera - que su contenido observe los límites especificados en cualquiera de los procedimientos que a continuación se expresan ( a y 2 ), en la inteligencia que la elección - entre uno y otro quedará al criterio del fabricante, excepto en aquellos casos en - que éste y la Secretaría convengan en usar uno de los dos.
- 1 Los valores 0.8, 8 por ciento y 1 800  $cm^2/g$  de álcalis, aluminato tricálcico y superficie específica (método turbidimétrico) respectivamente, en el cemento en prueba, se considerarán valores mínimos de influencia mayor.

Un cemento Portland que satisfaga los requisitos establecidos por esta norma para alguno de los cinco tipos que comprende, deberá presentar un contenido de anhídrido sulfúrico ( $SO_3$ ) que no exceda de 4.0, 3.5, 3.0, ó 2.5 por ciento, en relación a que en dicho cemento se exceda, respectivamente, tres, dos, uno ó ninguno de los valores mínimos de influencia mayor indicados. El contenido de anhídrido sulfúrico en cualquier cemento, no deberá ser menor de la diferencia que resulte de restar 1.0 por ciento del valor máximo permisible que le corresponde.

- 2 En la prueba de extracción acuosa, deberán obtenerse valores que satisfagan lo siguiente:
  - Mínimo a las 18.00 horas, 0.1 g de  $SO_3$  por litro.
  - Máximo a las 24.00 horas, 0.5 g de  $SO_3$  por litro.
- \*\* Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio férrico sea de 0.64 ó mayor, los porcentajes de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminoferrito tetracálcico, deberán calcularse en la siguiente forma:

Silicato tricálcico (C3S) =  $(4.071 \times \% \text{CaO}) - (7.600 \times \% \text{SiO}_2) - (6.718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1.430 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2.852 \times \% \text{SO}_3)$

Silicato dicálcico (C2S) =  $(2.867 \times \% \text{SiO}_2) - (0.7544 \times \% \text{C3S})$

Aluminato tricálcico (C3A) =  $(2.650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1.692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$

Aluminoferrito tetracálcico (C4AF) =  $3.043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3$

Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio a óxido férrico es menor de 0.64, se forma una solución sólida de aluminoferrito cálcico,  $ss(\text{C4AF} + \text{C2F})$ , el porcentaje de esta solución sólida y el del silicato tricálcico, deben calcularse de la manera siguiente:

$ss(\text{C4AF} + \text{C2F}) = (2.100 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) + 1.702 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3$

Silicato tricálcico (C3S) =  $(4.071 \times \% \text{CaO}) - (7.600 \times \% \text{SiO}_2) - (4.479 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (2.859 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2.852 \times \% \text{SO}_3)$ .

En los cementos de esta composición no se encontrará presente aluminato tricálcico.

El silicato dicálcico se calcula en la forma indicada anteriormente.

En el cálculo del C3A, los valores  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , deben expresarse con aproximación de 0.01 por ciento. En el cálculo de los otros compuestos, los óxidos determinados se expresarán por aproximación de 0.1 por ciento.

Los valores del C3A de la suma de  $\text{C4AF} + 2\text{C3A}$ , se expresarán con aproximación de 0.1 por ciento, y los valores de los otros compuestos, con aproximación del 1 por ciento.

\*\*\* Este valor límite se aplica cuando se requiere calor de hidratación moderado y no

se solicite la determinación del calor de hidratación.

- \*\*\*\* Cuando la Secretaría requiera un cemento especial, de bajo contenido en álcalis - será motivo de previo arreglo con el fabricante, quedando entendido que el contenido de álcalis, expresado en porcentaje de óxido de sodio (  $\text{Na}_2\text{O}$  ) no exceda - el 0.60 por ciento.

INFLUENCIA DE LOS COMPUESTOS QUIMICOS DE  
PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

COMPUESTOS	RESISTENCIA MECANICA	CALOR DE HIDRATACION *	CAMBIOS VOLUMETRICOS.	RESISTENCIA A LA CONGELACION Y DESHIELO	RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS.
Silicato tricálcico C <sub>3</sub> S	La incrementa a edades tempranas y su efecto continua a edades posteriores.	1.14+ 0.054	No tiene influencia	La mejora	La mejora.
Silicato dicálcico C <sub>2</sub> S	Poca influencia a edades tempranas; aumenta a edades posteriores	0.436+ 0.045	No tiene influencia	La mejora	
Aluminato tricálcico C <sub>3</sub> A	Sólo contribuye en las primeras edades	2.02+ 0.20	Los aumenta	La disminuye	Cuando es mayor de 8%, la reduce.
Ferroaluminato tetra-cálcico C <sub>4</sub> AF	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.

### 2.2.1.3. CARTAS DE CONTROL

La discusión teórica sobre la base matemática, funcionamiento y técnicas de construcción de las Cartas de Control, se trata en detalle en el capítulo 3 inciso 3.1.2., en esta -- parte únicamente se hablará sobre que parámetros conviene tomar en cuenta y la forma -- en que va a ser útil.

Los índices que diariamente se deben determinar en los cementos, son la resistencia a -- compresión en cubos y la finura. Es claro que simultáneamente a la fabricación de los es pecímenes, se determine la finura con la misma muestra, ya que solamente así se podrá -- establecer si es que existe una relación entre ambos parámetros.

Es obvio que interesa tener información lo más pronto posible en lo que a la resistencia -- del concreto se refiere. La edad temprana que proporciona resultados confiables es 24 ho -- ras. La práctica usual es fabricar cubos de una misma mezcla, las que se ensayan a 24 -- horas, 3, 7, 14 y 28 días. Ahora bién, los parámetros que deberán controlarse serán: la resistencia a compresión, promedio a diferentes edades y sus dispersiones, por lo que se -- elaborarán cartas de control para valores medios y para rangos.

Naturalmente que las proporciones entre las resistencias a diferentes edades en función de -- su resistencia final, así como los valores de dispersión normales para cada edad, tipo y -- marca de cemento, se irán encontrando progresivamente, a menera que se tenga un núme -- ro de resultados suficiente que permita efectuar un análisis estadístico consistente. Una -- vez que esto se haya hecho, se podrá graficar diariamente nuestros resultados, ver la for -- ma en que la calidad del cemento se manifiesta en ellos y determinar tendencias que en -- un momento dado obliguen a realizar alguna prueba en particular, de las que no se veri

fican sistemáticamente.

A continuación se marcan los pasos a seguir, para establecer este sistema de control.

- En principio se debe contar con el personal, equipo e instalaciones que garanticen que los ensayos se están realizando correctamente y que los resultados que se obtengan serán confiables.
- Tomar diariamente una muestra del cemento que se está recibiendo y/o consumiendo, de un tamaño tal, ( 10 - 12 kgs. ), que permita una vez utilizada la parte requerida para los ensayos, guardar otra de suficiente tamaño y perfectamente identificada. Esto debe hacerse para cada marca y tipo de cemento que se está utilizando. En el laboratorio es conveniente tener un mueble con separaciones en donde se vayan almacenando las bolsas que contengan estos cementos, ya que es común que se revuelvan y haya en un momento dado, problemas para localizarlas.
- Una vez que se empiezan a obtener resultados, se deberán clasificar por edad y marca de cemento.
- Al cabo de 2 meses aproximadamente, se contará con resultados suficientes ( del orden de 25 ), correspondiente a diferentes edades, esto es, que se tendrá 25 valores de 24 horas, 25 valores de 3 días y así sucesivamente, hasta obtener 25 valores a 28 días.
- A cada conjunto de estos 25 datos, se les determina su media aritmética y su desviación estándar.
- Una vez que se tenga esto, en una hoja de papel milimétrico sobre un mismo eje

de ordenadas se iniciará por la parte superior, trazando una recta horizontal que - su ordenada sea precisamente la media en  $\text{kg/cm}^2$  obtenida a la primera edad, esto es, 24 horas. A continuación se marcarán los límites superior e inferior que se recomienda tengan una distancia de ± dos desviaciones estándar con respecto a la media, ya que esto proporciona un buen nivel de confianza del orden de un 95 por ciento.

- Bajo de esta carta de control, se elaborará una de rangos, correspondiente a la dispersión de este conjunto, para elaborar ésta, se obtendrá tanto la media como el límite superior e inferior, en función de la dispersión medida en desviación estándar fijada. Se recomienda que el tamaño de los subgrupos sea de cinco elementos para esta carta de control de rangos, ya que tienen ventajas en cuanto a consistencia y en cuanto a facilidad de operaciones.

- La idea general es que a continuación de este par de cartas a 24 horas, en la parte inferior inmediata se tengan las que se refieren al siguiente conjunto, correspondiente a la siguiente edad, y así sucesivamente hasta tener las correspondientes al conjunto de resultados a 28 días, siendo coincidentes en un mismo eje vertical todos los valores a diferentes edades de un mismo cemento, en cuyos extremos se tendrá la referencia del mismo, que generalmente es el día y en el otro extremo el valor de la finura, también correspondiente a ese cemento.

Este sistema por demás simple, proporciona una gran cantidad de ventajas, tales como:

- Se tiene en un sólo registro ( una sola hoja ) todos los resultados correspondientes a un mes.

- De un sólo vistazo se observa el panorama general.
- Se puede observar rápidamente cualquier tendencia, a su vez que relacionarla con la finura y con el valor a diferentes edades.
- Es posible en caso de alguna duda, rápidamente elegir ó encontrar las muestras de cemento a las que se les deba repetir alguna prueba, ó bién, realizar otra adicional.
- Permite en cuesti3n de segundos establecer comparaciones entre cementos de diferentes marcas, que se est3n utilizando simultáneamente, ó bién, comparaciones en diferentes etapas ó periodos de producci3n de un mismo cemento.
- En este mismo registro se puede hacer anotaciones de las fechas y correcciones que se hicieron en el diseño de las mezclas de concreto, básicamente en su contenido de cemento, y una vez que se obtienen resultados de la resistencia del concreto, - la informaci3n se convierte en una fuente de retroalimentaci3n de resultados, ya - que se tiene en estos registros la experiencia anotada de las correcciones que se - hicieron partiendo de ciertos resultados iniciales en las características del cemento, y al paso del tiempo, cuando se obtienen los efectos de estas correcciones y además se puede contemplar las características finales de estos cementos, se tiene la informaci3n suficiente para que en ocasiones futuras las correcciones que se hagan a las mezclas en funci3n su comportamiento inicial y características del cemento sean las óptimas.
- Estas cartas de control pueden hacerse con diferentes colores, lo cual las hacen - más objetivas.

- Finalmente, como último comentario al respecto, se dirá que la idea de estos controles es establecer un sistema constante de retroalimentación de resultados en función de las características de los materiales, de sus efectos en las mezclas de concreto, los efectos de las correcciones y lo adecuado de estas.

Y se puede garantizar que con cierta práctica y experiencia, las decisiones que el Técnico responsable de la calidad del concreto tome, no serán ni tardías ni a ciegas, y esto es lo importante, cuando se trabaja con un producto cuyas características finales están obligadas a ser las adecuadas, ya que cuando éstas se determi--nan nada se puede hacer para modificarlas.

### 2.2.2 CONTROL DE LOS AGREGADOS.

Un buen concreto, es el resultado de una adecuada mezcla de sus componentes, así como de las propiedades de los mismos. No conviene condicionar el comportamiento del concreto, únicamente a alguno de los materiales que lo constituyen.

Las características de los agregados tienen una influencia determinante en las propiedades del concreto:

- Sería ocioso hacer afirmaciones tales como que: la resistencia estructural de los -- mismo no tiene influencia en el comportamiento mecánico del concreto, ó que su -- forma y textura no influye en su trabajabilidad, ó bien que su adecuada distribu--ción granulométrica no esta relacionada con el contenido de pasta de cemento por unidad de volumen. Por citar únicamente algunos.

Es claro que en el momento en que se decide producir concreto, se debe por principio de

cuentas, conocer los materiales ( agregados ) que se van a utilizar, y se recalca, conocer en lugar de elegir, porque en numerosas ocasiones se dispone únicamente de determinados materiales y es con ellos con los que se debe trabajar. El decir conocer los materiales, - significa que se requiere conocer sus principales características o sus principales índices y la influencia de estos en su comportamiento, como elementos constitutivos del concreto. Más aún, se debe conocer la forma en que estas características variarán y en función de ellas, establecer un sistema de control.

Para lograr esto, es que se ha creado una serie de ensayos ó pruebas que deben practicarse a los agregados y las principales se describen a continuación.

#### 2.2.2.1 PRUEBAS FISICAS.

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 este se tiene una cantidad conocida de peso, misma que desplazará un determinado volumen de agua. Al relacionar varios valores, se obtendrá - la densidad . Norma D.G.N. 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 - y 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, no obstante ser material 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  $2.36 \text{ ton/m}^3$ . Sin embargo, cuando ésta desciende a menos de  $2.35 \text{ ton/m}^3$ , lo cual aparentemente es muy poco, es casi siempre debido a que se ha contaminado con arcillas ó limos provenientes de despalmes en la explotación, lo que sucede principalmente en época de lluvias. Esto como resulta fácil de imaginar, 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 eflorescencias que en el caso de elementos arquitectónicos resultan altamente desfavorable.

Otro ejemplo que quizás pueda resultar interesante, es el que se presenta en el agregado grueso de " escoria volcanica ", esta grava tiene una densidad muy variable, ya que puede oscilar desde  $1.6 \text{ ton/m}^3$  hasta  $2.2 \text{ ton/m}^3$ . La causa de tan alta variación, está en el origen de estos depósitos, ya que se tiene en un mismo banco zonas de material más poroso ó 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 tendrá a su favor, y debido a su mayor porosidad ventajas de adherencia. En donde podría entonces presentarse el problema. 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 alguno de los componentes de la mezcla, el volumen adicionado de no tener esto en cuenta variaría en forma importante, produciéndose por decir algo, metros cúbicos de 950 a 1050 litros, lo que en el primer caso ocasionaría reclamaciones de volumen, y en el segundo, problemas de resistencia.

Lo anteriormente anotado, conduce a considerar este índice como uno de los importantes en los agregados y a establecer sistemas de control para el mismo.

En este aspecto se quisiera abrir un paréntesis para decir que es muy usual que el control que se desea establecer, en muchos casos y específicamente en el área de los agregados no se logra llevar a cabo. El motivo, radica principalmente en la procedencia de los agregados, los contratistas que los transportan a las plantas y el importante volumen que de ellos se consume diariamente.

Es común, que se disponga de varias minas de donde abastecerse de los materiales, y que en determinado momento varíen las características del banco.

También sucede que cuando se tiene poca demanda, se dedican a hacer almacenes, y normalmente cuando se carga de estos almacenes, el material puede estar contaminado ó bien ser muy variable en sus características.

Al transportista le interesa hacer el mayor número de viajes en el menor tiempo posi

ble, si simplemente se le permite cargar en donde el desea, lo hará donde más rápido lo consiga y seguramente será a costa de la calidad del material.

Durante el proceso normal de producción de una planta premezcladora, conforme 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 ó granulometría.

Lo que se quiere decir con lo anterior, es que para tener un control en los materiales, se debe efectuar éste en la fuente de abastecimiento, es decir, en el banco mismo. Por esta razón, es de suma 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 requerimientos especificados. Aún 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.

Abundando sobre lo particular, este personal de Laboratorio en las minas, puede estar asignado a una zona y desde un Laboratorio instalado en alguna mina en especial que generalmente será de la que más material se saque, trasladarse conforme se requiera a las otras minas del rumbo. Esto presenta la ventaja de que se puede estar evaluando la calidad del material de los diferentes bancos y así escoger el óptimo.

En la actualidad, en el Distrito Federal se cuentan con 3 zonas principales para abastecerse tanto de grava como de arena, por lo que, una compañía premezcladora

puede tener con poco personal un conocimiento total del material que está recibiendo en sus plantas, y además estar seguro de que es el mejor que hay.

Por otra parte, desde antes que se envíe el material a la planta, se conocen sus -- principales características como son densidad, granulometría y humedad, así mismo, -- si alguna e ellas cambiara durante la producción normal diaria, por medio del radio estos Laboratorios se comunicaran con el jefe de la planta.

Otra ventaja más, es que esta misma gente se encarga de distribuir a los camiones -- de material a las plantas en donde se están necesitando, ya que como se sabe, es -- común que por problemas de diferente índole una planta interrumpa repentinamente -- la producción que se le ha programado.

Finalmente se dirá que, como estos Laboratoristas por cada viaje de material que au -- torizan, entregan un vale firmado y foliado, es posible tener un mejor control de las -- compras y suministros de los mismos y evitar como se dijo anteriormente que los trans -- portistas carguen en lugares diferentes a los indicados, ya que por sistema, en las -- plantas antes de recibir el material se les puede decir que presenten su vale autori -- zado por el laboratorio.

Con lo anteriormente anotado, se ha tratado de ilustrar 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 y qué controles de otro tipo como pueden ser las cartas de -- control, nos servirán para conocer la variabilidad y calidad del material de las di -- ferentes minas, lo que permitirá tomar decisiones no inmediatas como pueden ser, en -- el aspecto técnico, alguna modificación que optimice el proporcionamiento de las --

mezclas, ó bién, en el aspecto comercial, elementos para futuras negociaciones. Pero indudablemente las correcciones durante la producción diaria, serán para los jefes de planta más sencillas con la ayuda que les brindarán los informes de los Laboratoristas de las minas.

2.- Absorción.- Por 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 ésta, 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.

La determinación de la absorción se encuentra en: Norma D.G.N. C-165.

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 ó 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 encontrará sobresaturado.

El grado de humedad en los agregados debe conocerse invariablemente, ya que el agua que en exceso ó defecto contengan, alterará en forma importante las propiedades de la mezcla. Se citarán algunos ejemplos para ilustrar lo anterior.

Supongáse que se desea producir con una planta dosificadora en seco, una mezcla de características convencionales, con agregados anesíficos. Como es sabido, 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. Púes bién, volviendo al ejemplo, se ha considerado que la arena que se recibe en la planta tendrá un 6 por ciento de humedad, esto es que su condición será de saturada y superficialmente seca. El contenido de este material por m<sup>3</sup> 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, asimismo, que el operador de la planta sigue pesando sus materiales sin considerar este cambio.

Por principio la densidad que se tenía considerada para al arena ya ha cambiado. Con esto se 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 nue

tra 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 fuerza 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 totalmente diferentes a lo deseado.

De lo anterior se puede concluir que se debe en todo momento conocer las características de los materiales que se van a utilizar en la producción. Es obvio que los jefes de planta deben tener especial cuidado en este aspecto, así mismo que el operador de la planta debe estar capacitado para que en el momento preciso pueda darse cuenta sobre alguna variación importante en los agregados y reportarlo. Por otra parte, es básico que los proporcionamientos deben estar diseñados en tal forma que contengan todas las posibilidades de variación de los agregados y que baste indicar al pesador los principales índices, esto es de densidad, absorción y granulometría, para fabricar la mezcla adecuada.

Es en esta forma como se puede tener un control efectivo sobre la producción.

Por supuesto que el auxiliarse con las cartas de control y gráficas mostrarán más objetivamente la forma en que varían los agregados, asimismo proporcionarán información acerca del comportamiento cíclico de los mismos, por ejemplo, en función de la estación del año, ó de la demanda que de ellos exista en el mercado.

En cuarto a las cartas de control para estos índices, únicamente vale la pena agregar que su forma de límites deben encontrarse o diseñarse conforme a nuestras propias necesidades, más que ajustándose a modelos matemáticos como lo es el caso del cemento y del concreto.

Refs. ASTM-C-70.

- 4.- Granulometría.- Por granulometría ó composición granulométrica de los agregados, se entiende la característica que resulta de la distribución de tamaños de las partículas que lo constituyen. Esta adecuada distribución tiene por objeto, proporcionar a las mezclas en estado fresco una adecuada trabajabilidad, asimismo, 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 ocupen los espacios que han dejado las inmediatamente mayores, y por consiguiente la lechada ó 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 en ellas. A esta operación se le denomina análisis granulométrico y permite como ya se dijo, conocer las granulometrías en la grava y la arena. Refs. Norma -

D. G. N. C-77 y A. S. T. M. C-136.

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:

<u>Denominación</u>	<u>Abertura en mm.</u>
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, dividida entre 100. De acuerdo con su módulo de finura las arenas suelen clasificarse como sigue:

<u>Módulo de Finura</u>		<u>Clasificación</u>
Menos de	2.0	Muy fina
2.0	2.3	Fina
2.3	2.6	Medio Fina
2.6	2.0	Media
2.9	3.2	Media gruesa

3.2	3.5	Gruesa
Más de	3.5	Muy gruesa

Se aceptan para elaborar concreto, las arenas cuyo módulo de finura este comprendido entre 2.3 y 3.2, ya que el empleo de arenas muy gruesas ó muy finas no es recomendable.

Adicional a este índice es recomendable confrontar los porcentajes parciales retenidos en cada malla, contra límites establecidos y sancionados por la práctica. Esto se lleva a cabo gráficamente existiendo límites propuestos tanto por la A. S. T. M., como por el U S B R.

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

<u>Malla</u>	<u>Abertura en mm.</u>
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, conforme a U. S. B. R.

No obstante en la práctica es poco usado.

La tolerancia para los diferentes tamaños máximos de agregados se encuentran en la

## Tabla 2 A S T M - 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 ó 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 que debe de tenerse al respecto, ya se expuso anteriormente, y es de la mina. Sin embargo, y debido a que 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 gastan y a que durante la época de lluvia, cuando el material se encuentra sobresaturado, emplean mallas de mayor abertura para no reducir 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 ó de grava en arena, lo que permitirá determinar alguna tendencia, en el momento en que ésta se empiece a presentar.

En lo que a correcciones se refiere, como en el caso de la humedad, las tablas de proporcionamiento deben elaborarse, en función de las mencionadas contaminaciones.

A continuación se menciona un sistema simple pero efectivo, que se lleva a cabo en una compañía premezcladora.

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 an dasfíticos esta proporción es del orden de un 60 por ciento de grava y un 40 por - ciento de arena. Es común 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 re sulte una proporción diferente a la deseada. Es una buena práctica contar con un - número suficiente de tablas de proporcionamiento, que corrijan estas contaminaciones y que permitan mantener la relación grava - arena deseada.

Para lo anterior, se sugiere elaborar un conjunto de tablas que resuelvan un proble- ma de contaminación que pueda ir desde un 10 por ciento de grava en arena sin con taminación de arena en grava, hasta un 10 por ciento de contaminación de arena en la grava sin contaminación alguna de grava en la arena. Asimismo auxiliarse de un - ábaco al que se pueda entrar con la respectiva contaminación de cada uno de los - agregados en el otro, y que este ábaco nos indique que tabla usar. La elaboración - de estas tablas se detalla a continuación.

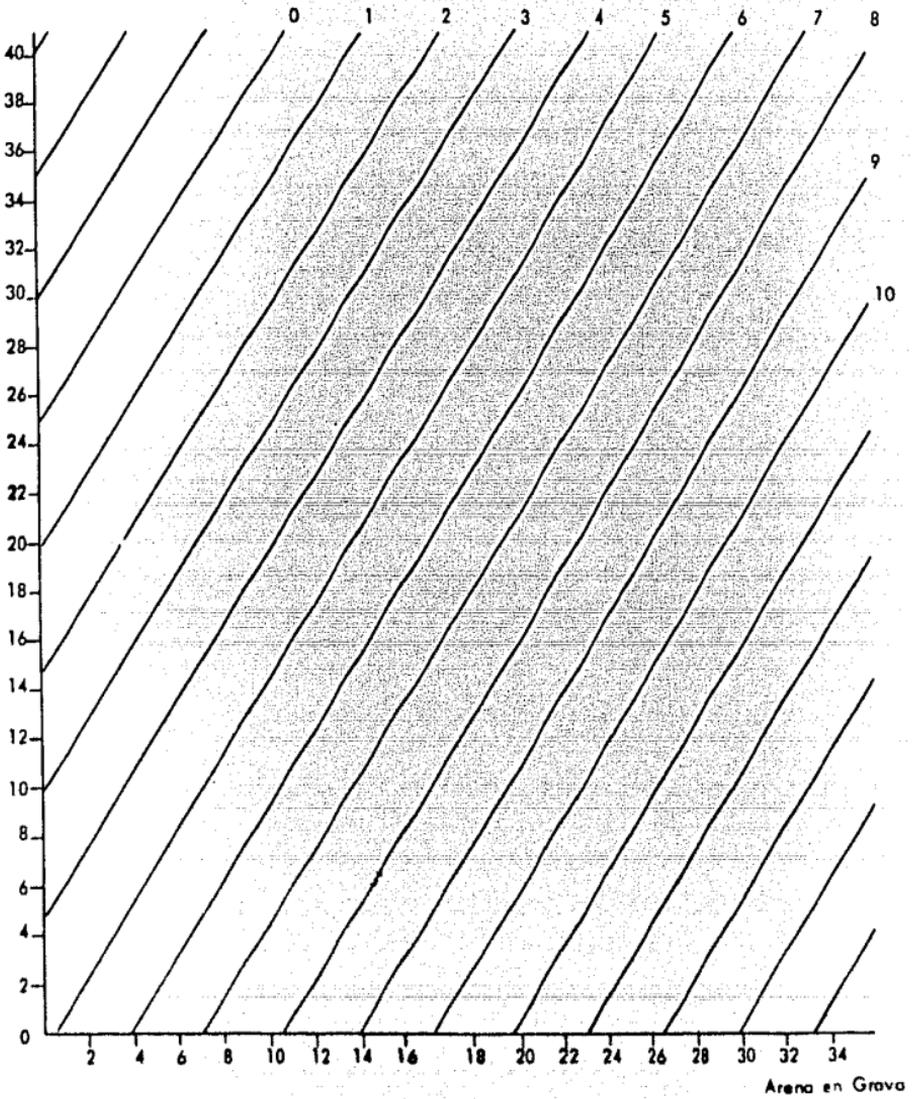
Se puede contar con once tablas que vayan del número cero al número diez. La ta- bla número cero ajustará las cantidades de grava y arena de tal suerte que permita- mantener la proporción original mencionada de 60 por ciento grava - 40 por ciento arena, que de no hacerse este ajuste conduciría en la mezcla de ambos materiales a una proporción de grava 70 por ciento - arena 60 por ciento, La tabla número uno - corregirá en igual forma una contaminación de un 8 por ciento más de grava, que - de no hacerse la corrección resultaría en la mezcla un 68 por ciento de grava y un

32 por ciento de arena. Así sucesivamente la tabla número dos corrige un ó por ciento más de grava, la tabla número tres un 4 por ciento, hasta llegar a la tabla número cinco que lógicamente corresponde al proporcionamiento original, suponiendo que ni la grava ni la arena tienen contaminación alguna, ó bién, que las contaminaciones en cada material son tales que de todas formas sin corrección alguna este proporcionamiento se conserva. Después seguiría la tabla número seis, la cual empieza a corregir un 2 por ciento de contaminación pero de arena y así sucesivamente hasta la tabla número diez, que en igual forma a la número cero corrige un diez por ciento de contaminación de grava, ésta, lo hace pero de arena.

En relación al ábaco que se menciona líneas atrás, a grandes rasgos consiste en un conjunto de rectas, correspondiente al número de tablas, con la pendiente de la relación grava - arena, localizadas en un sistema de coordenadas, en el que las abscisas se marca el porcentaje de contaminación de arena en grava, y en las ordenadas el porcentaje de contaminación de grava en arena. Entrando a él con ambas contaminaciones en el lugar en que se cortan las líneas perpendiculares a los ejes se tendrá la recta que corresponde a la tabla por utilizar. Este ábaco se muestra a continuación.

En síntesis las pruebas que a grandes rasgos se acaban de describir, ( densidad, absorción, humedad y granulometría ) son las que sistemáticamente deben efectuarse para controlar los materiales que normalmente se emplean. Asimismo, para que exista una real y efectiva retroalimentación de resultados, las tablas de proporcionamiento deben estar diseñadas en forma tal que al entrar en ellas con los valores de los parámetros mencionados, se obtenga el proporcionamiento correcto. Es decir, deben in

Grava en Arena



cluir todos los posibles valores ( cantidades de material que deban adicionarse ), que resulten de las variaciones normales de densidad, humedad, absorción y granulometría. Esto como ya se dijo para mantener en todo momento el proporcionamiento deseado.

- 5.- Existen, para determinar las propiedades de los agregados, algunas pruebas físicas -- más estas son: Sanidad D.G.N. C-75 y ASTM C-88, materiales 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 ya que pruebas químicas se efectúan generalmente para conocer en un principio -- las características de los materiales y saber si son ó 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 no se conoce, habrá de practicarse le 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 ope raciones necesarias para hacerlos llegar, en condiciones satisfactorias, hasta el punto mismo en que deben medirse las cantidades previstas para integrar la mezcla de concreto fres co.

Ya que en la producción de concreto a nivel industrial, la calidad de éste debe ser cons tante y adecuada, independientemente de la magnitud ó importancia de las obras en las -

que se entregue, la forma como se acondicionen y manejen los materiales deberá ser conforme a procedimientos adecuados, y con las debidas adaptaciones tanto de equipo como instalaciones.

2.2.3.1 CEMENTO.- Su proceso de elaboración termina con el almacenamiento de éste en los silos de las fabricas, conforme sale de la molienda, momento en el que el producto posee, generalmente, una temperatura elevada que depende de factores tales como temperatura del clínker al entrar al molino, empleo de medios de enfriamiento durante la molienda y temperatura ambiente.

En esta última etapa se debe proceder a obtener muestras que comprueben sus características.

La recepción del cemento puede hacerse en sacos de 50 Kgs. ó bién a granel. Cuando se recibe en sacos, requiere de una serie de maniobras adicionales para su almacenamiento y su uso, que redundan generalmente en un mayor costo unitario de producción, ya que existen desperdicios excesivos, en algunas ocasiones más alla del 5 por ciento, independientemente de que se tiene una mayor probabilidad, de que se vea afectada la calidad del mismo.

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

- a).- Disponer de una bodega cerrado que aisle al cemento de la humedad ambiente 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 siendo impermeable, si es de lámina, tenga una inclinación suficiente para prevenir la caída de gotas por condensación de humedad inferior.
- 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 ó camiones acondi- cionados 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 ó serpentines, y de esta tolva a su vez se eleve y descargue en los silos utilizando elevadores de canchales, ó bien por medio de camiones ( pipas de cemento ) que cuenten con equipo neumático, esto es, que eleven el cemento por medio de aire. Independien- temente de los sistemas de transporte que se utilicen para almacenar el cemento recibido a granel, estos deben presentar principalmente las siguientes características:

- a).- Las tolvas de descarga deben estar apropiadamente protegidas contra el mal tiempo, a la vez que ventiladas para impedir la absorción de humedad.

- b).- Los silos deben ser estructuras cerradas, impermeables, ventiladas y poseer un filtro en la parte superior que evite la producción de polvo cuando se esta descargando el cemento, principalmente cuando se emplean métodos neumáticos.
- c).- Daben tenerse el número suficiente de silos, como tipos de cemento a utilizarse, y de la capacidad suficiente, para evitar esperas costosas del equipo de transporte al efectuar la descarga.
- d).- En su interior deben de ser lisos y con una inclinación mínima en el fondo de 50- grados, si éste es cónico, ó de 55 a 60 grados si éste es rectangular.
- e).- Los silos en la boca de descarga deben estar provistos de vibradores mecánicos y de aire, que eviten el taponamiento por compactación del cemento.

Algunas ventajas adicionales que se tienen al utilizar cemento a granel son:

- a).- El cemento difícilmente se encuentra hidratado por exceso de tiempo de almacenamiento, lo cual es común en los sacos.
- b).- Durante el transporte, por lo equipos de que se dispone, el cemento se conserva inclusive en mal tiempo, mucho más protegido que el envasado en sacos.

Así como hemos ponderado las principales ventajas del cemento a granel, es justo anotar que presenta algunos inconvenientes, por ejemplo, cuando 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 regis-

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

Si los agregados son manufacturados, el proceso sufre algunas modificaciones, consistiendo entonces en la explotación del banco de roca; reducción progresiva del tamaño de la roca por medio de trituración primaria, secundaria y a veces terciaria, ó bien molienda para producir agregado fino; lavado y clasificación de material por tamaño; 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: las 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 minerales y la presencia de planos débiles producidos por esfuerzos residuales. Por ejemplo, hay algunas rocas ígneas de estructura fanerítica ( como el granito y la diorita ) que al fracturarse tienden naturalmente a formar fragmentos regulares y, en cambio, otras de textura afanítica ( como el basalto ) que tienden a fragmentos angulosos.

Ahora bién, una vez brevemente comentado lo referente a una correcta obtención de los agregados para su utilización, se hablará sobre los procedimientos de acondicionamiento y manejo que deben seguirse para conservar las buenas características de estos agregados, a la vez que para elaborar un buen concreto.

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 ó previamente nivelado con pendiente suficiente que permita drenar el agua al escurrir de los agregados, colocando una plantilla de concreto pobre ó de suelo cemento, ó bien una capa perdida de agregado, en contacto con el terreno, no menor de 30 cms. 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 taudes extensos por donde puedan rodar las partículas y clasificarse.
- d).- No yuxtaponer fronteras entre dos almacenamientos contiguos, separándolos ó interponiendo un muro ó 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 oruga.
- 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, ó colocando un embudo a la descarga.
- g).- Si la arena se almacenara sobresaturada, lo cual es muy común en el caso de las arenas lavadas ó 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.

g).- 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.- El agua que se utiliza para el mezclado del concreto, normalmente debe aprobarse mediante ensayos de Laboratorio. Durante la producción no se requieren nuevos ensayos, salvo que ocurra alguna contaminación imprevista con sustancias posiblemente perjudiciales para el concreto. Mientras el agua permanezca limpia y no tenga sabor ni olor puede continuar usándose.

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 necesario 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.

Aunado a lo anterior, es fundamental para conocer el comportamiento del agua por utilizar, fabricar con ésta mezclas de concreto y analizar el comportamiento de éste, en cuanto a fraguado y resistencia a la compresión, comparativamente con mezclas de concreto en las que se haya utilizado agua destilada. El criterio americano nos dice que el fraguado inicial no deberá verse modificado en forma considerable, además de que la resistencia a la compresión deberá encontrarse entre el 85 y 90 por ciento de la resistencia obtenida en los concretos realizados con agua destilada.

Como guía para selección del agua de mezclado, se recomiendan los siguientes puntos:

- a).- Cuando se desée 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 presfuerzo, quedando por lo tanto, prohibida para éste último.
- 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 2000 p.p.m. Esta recomendación es válida también para sólidos en suspensión.
- d).- Las aguas negras y de desperdicios industriales, son perjudiciales al concreto, ya -- que contienen materias orgánicas, aceite, ácido orgánico e inorgánico, sustancias -- alcalinas, materias en suspensión que son perjudiciales, ya que reducen substancialmente la resistencia a la compresión del concreto. Además de algunos defectos dañinos secundarios.
- e).- El agua de mar que contenga menos de 35000 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 altas resistencias a la compresión a edades iniciales; aunque un pequeño detrimento de ésta a edades finales. En cuanto al concreto presfuerzoado, no se permite su utilización y en 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.- Los aditivos pueden usarse para los siguientes fines:

- 1.- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua ó 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 ó acelerar el fraguado inicial.
- 5.- Retardar ó reducir el desarrollo de calor.
- 6.- Modificar la velocidad ó la aptitud de sangrado de ambos.
- 7.- Aumentar la durabilidad ó la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
- 8.- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- 9.- Reducir el flujo capilar del agua.
- 10.- Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- 11.- Para producir concreto celular.
- 12.- Mejorar la penetración y el bombeo.
- 13.- Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.

- 14.- Reducir ó evitar el asentamiento ó para originar una leve expansión en el concreto ó mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas ó traves, ó para rellenar ductos de cables de concreto postensado ó vacíos en agregados precolados.
- 15.- Aumentar la adherencia del concreto al acero.
- 16.- Aumentar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- 17.- Producir concreto ó mortero de color.
- 18.- Obtener concretos ó morteros con propiedades fungicidas, gemicidas ó insecticidas.
- 19.- Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión en el concreto.
- 20.- Reducir el costo unitario del concreto.

La anterior lista de 20 razones importantes para las cuales se usan los aditivos es, en efecto una clasificación funcional. Existe información más detallada en cada uno, en el tercer informe del Comité 212 del ACI, " Aditivos para Concreto ". Aunque han ocurrido cambios en la tecnología de los aditivos desde que ese informe fué publicado en 1963 ( como lo demuestra el presente informe ), contiene información que todavía resulta muy útil.

### CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS

Los aditivos para concreto pueden ser clasificados por su función, como se hizo arriba, ó por su composición. En el debate de 1959 de la American Society for Testing and Materials, sobre el efecto de los aditivos reductores de agua y aditivos retardantes del fra-

guado sobre las propiedades del concreto, se utilizó una clasificación basada en la composición, ya que la mayor parte de los productos que se usaban entonces eran de dos tipos ó sus modificaciones. Poco después, sin embargo, el Subcomite III-H de Aditivos del Comité C-9 de A.S.T.M. inició el desarrollo de lo que ha llegado a ser la especificación A.S.T.M. C-494 " Aditivos Químicos para Concreto ". Esta especificación clasifica ciertos aditivos químicos en términos de su función.

Tipo A - Aditivos reductores de agua.

Tipo B - Aditivos retardantes.

Tipo C - Aditivos acelerantes.

Tipo D - Aditivos reductores de agua y retardantes.

Tipo E - Aditivos reductores de agua y acelerantes.

### ESPECIFICACIONES PARA ADITIVOS

Las siguientes especificaciones son usadas muy ampliamente y se refieren a los tipos ó clases que constituyen la mayoría de los aditivos que se producen actualmente:

A.S.T.M.	C	98	Cloruro de calcio
A.S.T.M.	C	260	Aditivos inclusores de aire
AASHO	M	154	Aditivos inclusores de aire
CRD	C	13	Aditivos inclusores de aire
A S T M	C	618	" Fly Ash " y puzolanas naturales o calcinadas
Especificaciones Federales			Puzolanas
CRD	C	262	Puzolanas

A S T M	C	494	Aditivos Químicos
CRD	C	87	Aditivos Químicos
USBR			Aditivos reductores de agua y para controlar el fraguado.

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 proporciones o a confundir unos 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, tal es el caso de las puzolanas, también los hay en pasta, como ciertos impermeabilizantes, etc.

**Aditivos Líquidos.**- Estos aditivos 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 sedimentaciones 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 aditivo debe ser añadida antes de que concluya la adición del agua de mezclado. El momento al cual ciertos aditivos químicos son introducidos durante el ciclo de mezclado es de gran importancia.

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 bién cambiar en forma apreciable el requerimiento de agua en la mezcla.

Los aditivos químicos en forma líquida no deberán ponerse en contacto directamente con los agregados y/o el cemento secos, ya que en el primero de los casos, estos pueden absorberlo nulificando su efecto, y en el segundo por concentraciones de éste que no permiten una adecuada dispersión a distribución del aditivo en toda la mezcla.

Los materiales líquidos que se introducen 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 ó 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 finamente divididos.

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

Los aditivos en polvo generalmente 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 absorberla.

De los aditivos minerales finamente divididos se puede hacer la siguiente clasificación:

- a).- Minerales relativamente inertes químicamente, tales como el cuarzo molido, caliza molido, bentonita, cal hidratada, etc.
- b).- Materiales cementantes, que comprenden cementos naturales, cales hidráulicas, cementos de escoria ( mezclas de escoria de altos hornos y calizas ) y escoria granulada de alto horno.
- c).- Puzolanas, ( ASTM C-219 ) como " Fly ash ", vidrio volcánico, tierra diatomácea y algunos esquistos o arcillos.

Estos aditivos minerales finamente divididos, deben protegerse de la humedad y de la contaminación, almacenándose en estructuras impermeables, ya sea tolvas, silos, etc. Generalmente su manejo, es similar al del cemento portland, esto es, que se utiliza equipo - transportador neumático, serpentines ó gusanos, elevadores de cangilones, bandas y bombas neumáticas. Así mismo los métodos de operación y mantenimiento seguidos para manejar cemento portland deben ponerse también en práctica, limpieza de gusanos, tuberías, fondos de elevadores, etc.

La dosificación de estos aditivos debe hacerse por peso y de acuerdo con ( A.C.I. C-14 ).

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 junto con el agua, ya que tienden a formar bolas, así mismo si se agregan al final, cuando la mezcla ya - esta formada, difícilmente podrán distribuirse de manera uniforme.

### 3.- 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 esfuerzo, 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 esto es poco práctico, se prefiere el empleo de métodos indirectos como son: la prueba Brasileña y el ensaye de vigas a flexión. En relación al esfuerzo cortante, éste se presenta en las estructuras, combinado con otro ( tensión o compresión ) la medición de resistencia a cortante puro no es una práctica corriente.

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, ó 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 experiencias que correlacionan los resultados de pruebas de resistencia 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 más frecuencia se de termine.

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 práctica local que se empleen piezas cilíndricas con altura igual al doble del diámetro.

El ensayo consiste en someter los especímenes al cabo de un cierto tiempo de elaborados, 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 con numerosos factores: energía de moldeo, humedad y temperatura de curado, edad de prueba, dimensiones del espécimen, condiciones y velocidad de aplicación de carga.

a).- Energía de moldeo.- La energía de moldeo durante la elaboración de los especímenes debe ser suficiente para alcanzar su completa compactación. Esto es primordialmente importante para aquellos concretos de revenimientos menores de 7.5 cms., ya que de no lograrse esta total compactación, la resistencia a la compresión se verá reducida.

Al respecto, los métodos D.G.N. previenen lo siguiente:

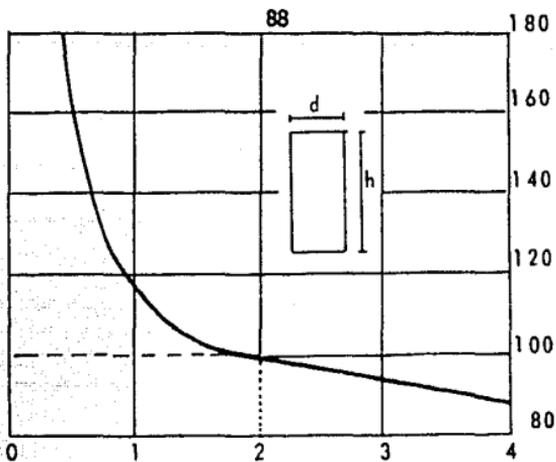
Consistencia de la mezcla ( Revenimiento en cms. )	Energía de moldeo ( Cilindros estándar 15 x 30 cms. )
Más de 7.5	Varillado: 75 inserciones distribuidas en tres capas.
Entre 7.5 y 2.5	Varillado en tres capas ó vibrado en dos
Menos de 2.5	Vibrado en dos capas.

b).- Humedad y temperatura.- Durante las primeras 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  $23 \pm 2$  °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

$23 \pm 2$  °C, ó con almacenamiento en un cuarto ó gabinete húmedo, cuya humedad relativa sea del 95 al 100 por ciento y su temperatura de  $23 \pm 2$  °C. Los especímenes no deben exponerse al goteo ó corrientes de agua. Nota.- Ver D.G.N. C-160 en vigor.

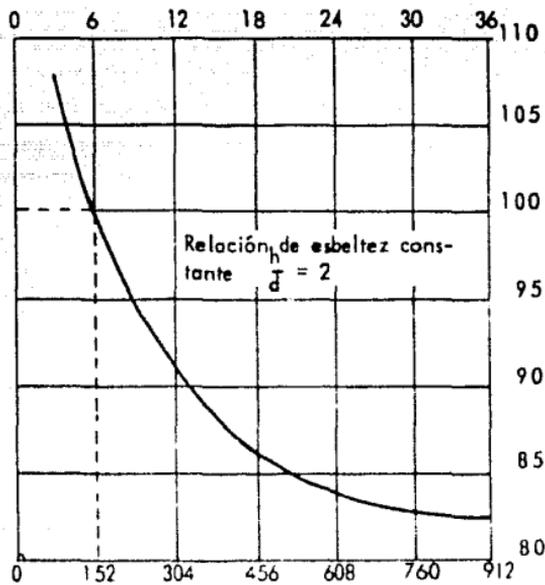
- c).- Edad de prueba.- Los cilindros normalmente se ensayan a edades iniciales 3 y 7 -- días, con el fin de determinar sus características potenciales de resistencia, ya que existe forma confiable de inferir los valores de resistencia a edades de diseño. Esto es 14 días para concretos de resistencia rápida y 28 días para concretos de resistencia normal. Es importante anotar que para concretos elaborados con cemento puzolánico, de escorias de alto horno 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 de agregado sobre el valor de la resistencia obtenida se especifica que el diámetro de los especímenes cilíndricos no sea menor de tres veces el tamaño máximo del agregado, aunque puede ser mayor, lo cual generalmente ocurre al emplear moldes cilíndricos de 15 cms. de diámetro por 30 de altura.



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

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

fig. No. 1



Porcentaje de la resistencia obtenida en un cilindro estándar de 152 X 304 mm.

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

fig. No. 2

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 disminuyen los resultados de resistencia a medida que aumenta el diámetro de la muestra. Ahora bién 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 15 x 30 cms.

- 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 0.05 mm., como irregularidad fuera del plano en una cabeza, y tres grados como ángulo permisible entre ambas cabezas. Al respecto las máquinas de ensaye deben estar provistas 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 dichos requisitos, se disminuye la resistencia del cilindro por la concentración de esfuerzos de compresión, ó

bién la presencia de los de tensión en su área transversal.

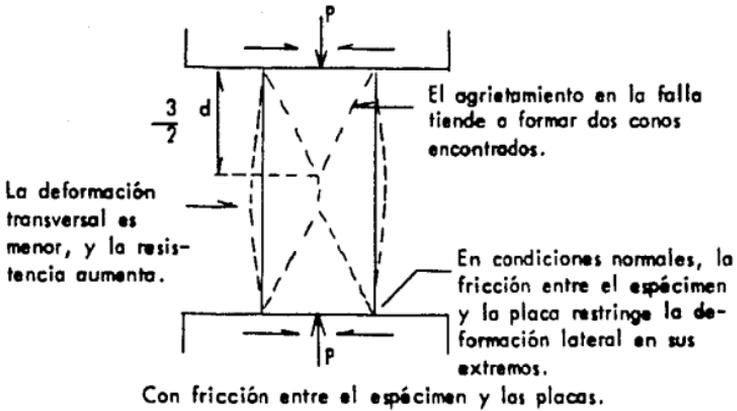
Otro aspecto del ensayo que influye en la resistencia de la pieza, se refiere a la fabricación entre sus cabezas y las platinas metálicas de la máquina. Al reducirse la fricción (mediante un lubricante por ejemplo), disminuye la carga que produce la ruptura del espécimen.

Esto se debe a que al deformarse menos transversalmente el acero de las platinas — que el concreto restringe, la deformación en la vecindad de las cabezas del cilindro, lo que produce esfuerzos de corte en el concreto, cuya magnitud depende del impedimento para que éste se deforme lateralmente; el espécimen sometido a es esfuerzos combinados de compresión y corte resiste mayor carga antes de fallar que cuando se le sujeta a esfuerzos de compresión simple.

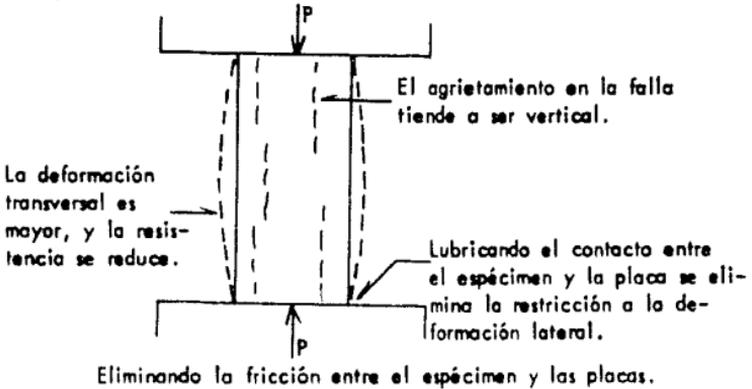
Un detalle interesante es que cuando existe fricción entre las platinas y el cilindro, al fallar el concreto por esfuerzos combinados, se manifiesta ésto en planos de falla inclinados que tienden a formar dos conos concurrentes en sus vértices, cuya altura aproximada es  $0.4 h$ , siendo  $h$  la del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

Ahora bién, cuando intencionalmente se interpone un lubricante entre las cabezas de la pieza de prueba y las platinas, el concreto se deforma lateralmente con liber tad y sin esfuerzos de corte; en este caso la falla del espécimen ocurre según planos aproximadamente verticales. Ver Fig. No. 3

Velocidad de carga.- La rapidez con que se incrementan los esfuerzos sobre un espécimen de concreto, influye notablemente en el valor que alcanza la carga de ruptura, pues ésta aumenta a medida que la velocidad se incrementa. Este efecto puede atribuirse al he-



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



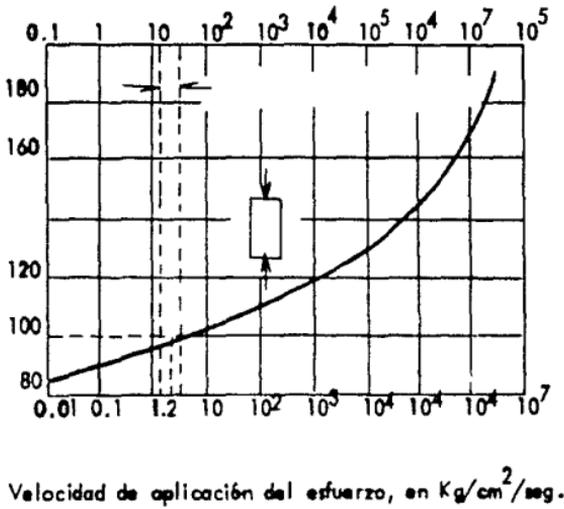
Influencia de las condiciones de contacto sobre la resistencia a compresión de especímenes de concreto.

fig. No. 3

cho de que cuando disminuye la velocidad de carga, no sólo aumenta el tiempo necesario para alcanzar cierto esfuerzo, sino también la deformación del concreto debida al flujo plástico. De este 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 concreto ocurre bajo distinto valor de esfuerzo, dependiendo del 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/cm<sup>2</sup>/seg., que para el caso de los cilindros de 15 x 30 cms. equivale a una velocidad de 15 a 38 ton/min. 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.— Este factor igualmente desempeña un papel importante en la resistencia a la compresión, ya que a menor humedad se obtienen mayores resistencias para un concreto dado. Como explicación a este fenómeno suele considerarse la estructura del gel de cemento, cuya característica principal es su gran 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, adsorbida por los geles de cemento y absorbida por los conductos capilares, siendo esta última la que define su estado de humedad. La adsorbida 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

Porcentajes de la resistencia obtenida a la velocidad de 2 Kg/cm<sup>2</sup> seg.



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

fig. No. 4

agua adsorbidas 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 en la estructura de la pasta de cemento que el producen contracción la que al aumentar la cohesión, favorecen la resistencia. Por el 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 ó reducirse conforme varía en un sentido ó en otro, el contenido de humedad.

Con el objeto de eliminar esta variable, se sepecifica 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.

### 3.1.1 ANALISIS ESTADISTICO.

Como se anotó en el inciso 3.1.- La resistencia a la compresión en el concreto es su principal índice de calidad. Sobre el conocimiento de su comportamiento y control se tratará a continuación.

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 deberfan ser mayores, sino iguales. De tal suerte que si se di-

señaba 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 cuesta diciendo que la muestra ó espécimen no estaba bien hecho y lo dejaban de esa manera; ó en otros casos, su culpaba al productor y se le pedía que obtuviera corazones de la estructura para probar que era resistente, ó hacer una prueba de carga y en algunos casos, se le exigía aún que demoliara 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 ende, de sus coeficientes de seguridad o sobrediseño.

Esto como es de suponer, situaba al productor de concreto (El Premezclador) en una posición sumamente difícil, ya que requería fabricar un concreto sobre excedido de resistencia y por tanto antieconómico, y lo más curioso es que ni aún haciendo ésto, ( el porqué más adelante lo demostraremos ) lograba evitar resistencias menores a las especificadas.

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

Lo más interesante de todo esto, es que existían especificaciones de calidad, ( quién sabe de que manera elaboradas ) y se pretendía que el concreto las cumpliera, sin detenerse a pensar, que el proceso era a la inversa, esto es, que primeramente se debía cono-

cer su comportamiento, y una vez hecho ésto, adoptar nuestras necesidades a este comportamiento, y que por lo tanto pretender cambiarlo era algo así como pretender cambiar — las leyes de la naturaleza.

Distribución de Frecuencias.— 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 cms.

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 revolventoras desde la planta hasta la obra en volúmenes del orden de cinco M3.

Para llevar a cabo esta verificación, se contrató a un laboratorio de reconocido prestigio quién 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 de control de calidad, vigilaba estrictamente, tanto la calidad de los materiales como la operación de la planta, haciendo las correcciones apropiadas por variaciones en las características físicas de los agregados a saber: densidad, humedad, granulometría, etc.

Al concluir la obra y por ende el suministro, se contaba con una gran cantidad de resultados de resistencia del concreto; por lo tanto, el laboratorio presentó su informe final basándose en especificaciones, el cual a continuación se anexa:

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 No.	Resistencia a 28 días	Muestra No.	Resistencia a 28 días
1	237	49	256
2	206	50	197
3	175	51	263
4	229	52	234
5	271	53	230
6	264	54	186
7	232	55	275
8	245	56	180
9	235	57	203
10	301	58	266
11	281	59	222
12	230	60	231
13	194	61	204
14	188	62	254
15	236	63	187
16	217	64	283
17	200	65	214
18	257	66	210
19	246	67	252
20	212	68	233
21	291	69	169
22	240	70	199
23	244	71	178
24	198	72	226
25	224	73	205
26	202	74	170
27	215	75	265
28	209	76	239
29	208	77	249
30	196	78	258
31	221	79	248
32	243	80	259
33	231	81	216
34	251	82	282
35	207	83	190
36	274	84	179

Muestra No.	Resistencia a 28 días	Muestra No.	Resistencia a 28 días
37	213	85	253
38	247	86	267
39	241	87	160
40	219	88	211
41	225	89	227
42	261	90	189
43	250	91	220
44	272	92	218
45	262	93	273
46	238	94	242
47	292	95	223
48	255	96	228

PROMEDIO DE SIETE MUESTRAS CONSECUTIVAS

1 - 7 = 230	46 - 52 = 248
2 - 8 = 232	47 - 53 = 247
3 - 9 = 236	48 - 54 = 232
4 - 10 = 254	49 - 55 = 234
5 - 11 = 261	50 - 56 = 224
6 - 12 = 255	51 - 57 = 224
7 - 13 = 245	52 - 58 = 225
8 - 14 = 239	53 - 59 = 223
9 - 15 = 238	54 - 60 = 223
10 - 16 = 235	55 - 61 = 226
11 - 17 = 221	56 - 62 = 223
12 - 18 = 217	57 - 63 = 224
13 - 19 = 220	58 - 64 = 235
14 - 20 = 222	59 - 65 = 228
15 - 21 = 237	60 - 66 = 226
16 - 22 = 238	61 - 67 = 229
17 - 23 = 241	62 - 68 = 233
18 - 24 = 241	63 - 69 = 221
19 - 25 = 236	64 - 70 = 223
20 - 26 = 230	65 - 71 = 208
21 - 27 = 231	66 - 72 = 210
22 - 28 = 219	67 - 73 = 209
23 - 29 = 214	68 - 74 = 197
24 - 30 = 207	69 - 75 = 202
25 - 31 = 210	70 - 76 = 212
26 - 32 = 213	71 - 77 = 219
27 - 33 = 218	72 - 78 = 231
28 - 34 = 223	73 - 79 = 234
29 - 35 = 222	74 - 80 = 241
30 - 36 = 232	75 - 81 = 248
31 - 37 = 234	76 - 82 = 250

32 - 38 = 238	77 - 83 = 243
33 - 39 = 238	78 - 84 = 233
34 - 40 = 236	79 - 85 = 233
35 - 41 = 232	80 - 86 = 235
36 - 42 = 240	81 - 87 = 221
37 - 43 = 237	82 - 88 = 221
38 - 44 = 245	83 - 89 = 213
39 - 45 = 247	84 - 90 = 213
40 - 46 = 247	85 - 91 = 218
41 - 47 = 257	86 - 92 = 213
42 - 48 = 261	87 - 93 = 214
43 - 49 = 261	88 - 94 = 226
44 - 50 = 253	89 - 95 = 228
45 - 51 = 252	90 - 96 = 228

Resistencia Promedio  $\bar{X} = 230 \text{ Kg/cm}^2$ .

Desviación Estándar  $S = 33 \text{ Kg/cm}^2$ .

% de valores abajo de  $f'c$  = 19 %

% de Promedios de 7 muestras consecutivas menores a  $f'c$  = 1 %

% de valores menores a  $f'c -50$  = 0 %

### 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		10
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
		<hr/>
		= 96

## C O N C L U S I O N E S

### 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  $f'c$ .

Asimismo, no deberá con este mismo nivel de confianza del 99 por ciento, existir valores por debajo de ( $f'c - 50 \text{ Kg/cm}^2$ .)

### 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 1977.

Es probable que una vez analizado el anterior informe, hayan surgido ciertas inquietudes y lo que es más, dudas. ¿ Como es posible que la apreciación del laboratorio en cuanto a la calidad de este concreto, sea tan favorable si se observa que?:

- Habiéndose pedido un concreto de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  únicamente una de las 96 muestras obtenidas presentó ese valor.
- Existen resistencias desde  $160 \text{ Kg/cm}^2$  hasta  $301 \text{ Kg/cm}^2$ , esto es un rango de  $140 \text{ Kg/cm}^2$  para concreto con  $f'c$  de diseño de  $200 \text{ Kg/cm}^2$ .
- El promedio fue superior a los  $200 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Se obtuvo cerca de un 20 por ciento de valores inferiores a  $f'c$ .

Por otra parte ¿ que son y para que sirven ?

- La  $\bar{X}$  ó resistencia promedio.
- La  $S$  ó desviación estándar.
- Que objeto tiene construir el Histograma y que significa.

Pués bién, se tratará de contestar estas dudas:

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 ó en función de ellos; saber mucho antes de que el hecho se realice ó el fenómeno se presente, cuales serán los resultados, éstos, consecuentemente conocidos por su rango de variación y por la frecuencia con la que se presentarán en determinados intervalos dados.

Para ejemplificar lo anterior, se puede reflexionar sobre la certeza que tiene el dueño de un Casino de Juego de las Vegas, a principio de año, de que durante éste va a obtener ganancias, y lo que es más, está en capacidad de estimar el orden de las mismas.

Si se pregunta como lo logra, la respuesta es sencilla. ( Y que conste que además se es tá partiendo de la base de que en ese Casino no se hacen trampas ). Todos los juegos - de azar 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 ó 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 ó sea el 100 por ciento cada uno de ellos en partículas Aguila ó 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 experi men to, 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, al siguiente lan zamien to fatal y necesariamente obtengamos Aguila, ó que si en el primer tiro de un da do se presentó el AS, éste 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 ó - 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.

Esto explica el porqué a fin de cuentas el Casino gana, ya que como se sabe lo que se paga cuando se gana es menos que la probabilidad que se tiene de ganar, asimismo al - dueño del Casino no le importa que día del mes ó que mes del año va a perder, sino el resultado global. Para contestar la segunda afirmación, de que cuanto ganará durante el

año, se dirá que estadísticamente el dueño del Casino puede estimar que cantidad de dinero durante ese año habrá de jugarse, y en función de su probabilidad a favor de determinar esta ganancia.

Pués bien, así como se llegó a conocer el comportamiento ó 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 donde se puede localizar algunos como:

El comportamiento ó distribución de frecuencias del índice de cociente intelectual de los habitantes de una población, ó el índice ó parámetro de estatura de los habitantes en edad adulta de otra población, ó bien la forma en que varía la cantidad de lluvia anual medida en pluviómetros durante un número importante de años en determinada zona hidrográfica, ó bien, el comportamiento del parámetro duración en horas de un lote de focos. Se encuentra el comportamiento o forma en que varía la resistencia a la compresión en el concreto. Y este comportamiento corresponde a una distribución de frecuencias NORMAL, cuyo modelo matemático es la Campana de Gauss. Fig. No. 5

Volviendo a nuestro ejemplo ( Informe de resistencias del concreto suministrado por Concretos " X " en la obra denominada Fábrica de Motores " Y " ). Se partió de un conjunto ó lista de valores individuales de resistencia, que forman un fenómeno de masa ó colectivo, y que presentados en esta forma ( de lista ), se obtiene una serie simple que por la gran cantidad de términos que la forman, poco ó nada dice con relación a las características más sobresalientes de los datos registrados. Pero si esa serie se transforma como se hizo en una de las frecuencias, se puede captar fácilmente el mayor número de las características fundamentales de los hechos.

Como se observa en nuestro ejemplo del informe del Laboratorio, los resultados de resis-

tencia del concreto, se agruparon en intervalos ó rangos de clase, y se determinó la frecuencia en cada uno de ellos; esto es, de valores que quedaron comprendidos en cada uno de estos intervalos. La forma en que se repartieron estas frecuencias, es la que se denomina " Distribución de Frecuencias ". En nuestro ejemplo se empleó para efectuar esa representación gráfica, un diagrama de rectángulos ó barras, en el que cada una de ellas tiene como base la amplitud de cada clase, (  $10 \text{ Kg/cm}^2$  ) 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.

Como consecuencia 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.

Es el 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 sinónimo de frecuencia, por lo que se tratará de aclarar . " La frecuencia ( real ) de que se presente un evento cua-

lesquiera 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 presente, observamos que conforme incrementamos el número de veces el experimento de lanzar la moneda, nos iremos acercando a la probabilidad.

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 comportamiento o distribución de frecuencias y se fijen los procesos de producción y los límites o niveles de calidad deseados.

### MODELO MATEMATICO

La curva de distribución normal, también es conocida con el nombre de " Curva de Gauss " o " Curva de los errores ". Su función correspondiente es:

$$Y = Y_0 e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}} \dots \dots \dots (1)$$

En esta igualdad, " Y " representa la ordenada en el origen; es decir, la frecuencia máxima correspondiente al promedio aritmético de la distribución.

La curva normal o de Gauss tiene las siguientes propiedades:

- Es simétrica con respecto a su media, punto en donde se tiene la ordenada o frecuencia máxima de la distribución; ya que su función adquiere el mismo valor para valores de " X " iguales y de signos contrarios, puesto que " X " está elevada al cuadrado.
- La curva queda definida perfectamente cuando se conoce el promedio aritmético, la desviación estándar y la ordenada (  $Y_0$  ) correspondiente al promedio.

El área bajo la curva normal, suponiendo que se extienda infinitamente a uno y otro lado del origen por ser asintótica es:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} Y_0 e^{-X^2/2\sigma^2} = Y_0 \sigma \sqrt{2\pi} \dots \dots (2)$$

Ahora bien, si se supone esta área igual a la unidad, se tiene:

$$Y_0 \sigma \sqrt{2\pi} = 1 \dots \dots \dots (3)$$

De donde:

$$Y_0 = 1/\sigma \sqrt{2\pi} \dots \dots (4)$$

Substituyendo ( 4 ) en ( 1 ) resulta:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}} \dots \dots (5)$$

Esta es la función de la curva normal que limita un área igual a la unidad. En esta función sabemos que:

$$\pi = 3.1416$$

$$e = 2.718 \text{ (base de los logaritmos neperianos)}$$

$X$  = Nos representa las desviaciones con relación al promedio aritmético.

$\sigma$  = Es la desviación estándar o dispersión de valores de la distribución.

Al suponer el área bajo la curva normal igual a la unidad, resulta que la porción de esta área bajo la curva, comprendida entre dos abscisas cualesquiera, es la probabilidad de obtener al azar valores para  $X$  comprendidos entre esas mismas abscisas.

Ejemplo: la probabilidad de obtener valores para  $X$  comprendidos entre  $A$  y  $B$ , es el área de la figura  $ABCD$ .

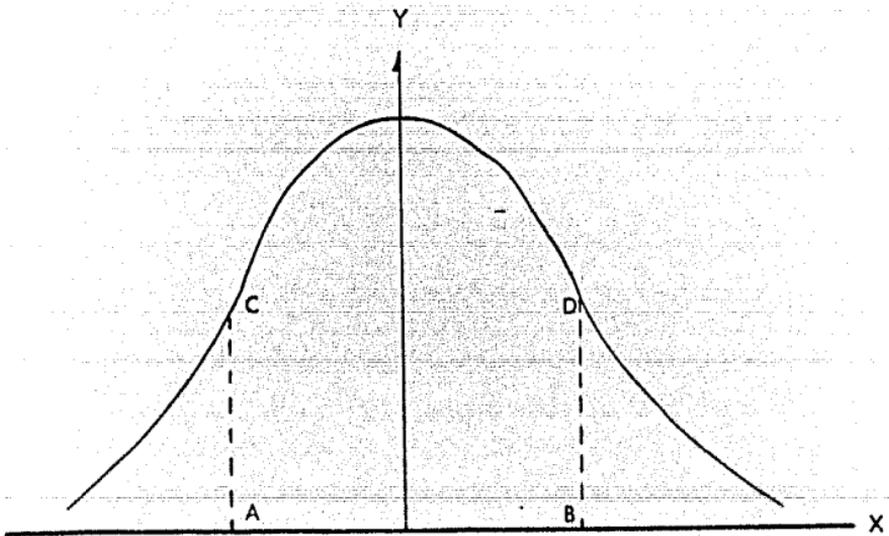


Fig. No. 5

Ahora bién, el área ABCD es igual a la unidad menos la suma de las porciones de área comprendidas desde  $-\infty$  hasta A y de B hasta  $+\infty$

Las tablas de área bajo la curva normal, dan estos valores de áreas situadas a la izquierda de una abscisa o desviación  $\frac{X}{\sigma}$ ; medida esta desviación tomando como unidad la desviación estándar; es decir estas tablas nos dan el valor del área bajo la curva que se encuentra a la izquierda de la ordenada correspondiente a una desviación  $\frac{X}{\sigma}$ . A estas áreas se les llama "Integral de probabilidad".

Volviéndo al ejemplo, obtenemos de las tablas el área ABCD de la siguiente manera:

- 1.- Buscamos el área comprendida desde  $-\infty$  hasta B.
- 2.- A esta área, le restamos la que existe desde  $-\infty$  hasta A.

Como el área bajo la curva normal la suponemos igual a la unidad y la curva es simétrica con relación al origen (M); resulta que el área situada a la izquierda de la ordenada máxima que según sabemos, corresponde a ese origen, es igual a 0.50

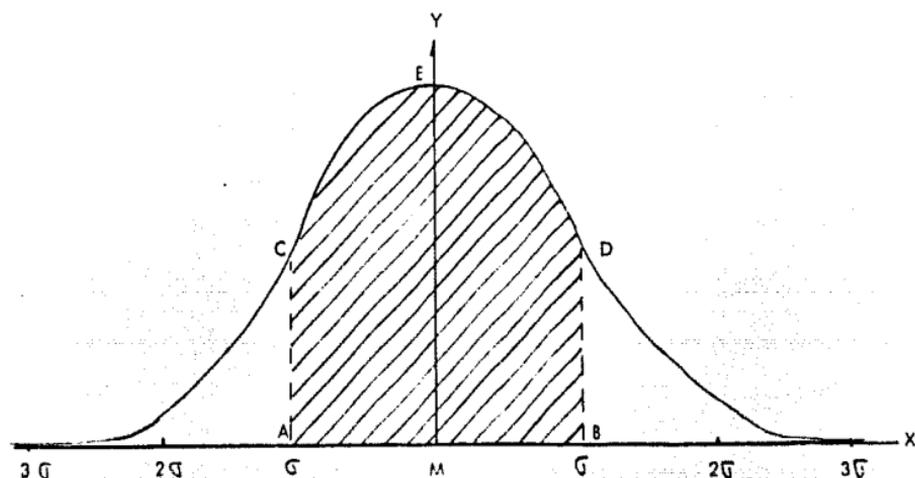


fig. No. 6

Si suponemos Fig. 6, que la abscisa o desviación  $X$  es igual a  $\sigma$  resulta  $\frac{X}{\sigma} = 1$ , y - en este caso, de acuerdo a la tabla de valores, el área bajo la curva normal que se encuentra a la izquierda de la ordenada correspondiente a la desviación  $X = \sigma$ , es 0.84134. Ahora bien, como el área a la izquierda de la ordenada en el origen es igual a 0.50, resulta que el área de la figura MEBD es igual a  $0.84134 - 0.50000 = 0.34134$ ; y como la figura es simétrica con relación al origen, se deduce que la parte achurada es igual a  $2 \times 0.34134 = 0.68268$ .

El resultado anterior indica que, la probabilidad de obtener al azar valores del fenómeno comprendidos dentro de la clase o intervalo de  $(M - \sigma)$  a  $(M + \sigma)$  es igual a 0.68268; - es decir, que a esa clase corresponde una frecuencia que representa aproximadamente el 68.3 por ciento del total de los casos razonando en forma análoga, se llega a las siguientes conclusiones:

- 1.- A la clase o intervalo de  $(M - 2\sigma)$  a  $(M + 2\sigma)$  corresponde una frecuencia que representa aproximadamente el 95.5 por ciento del total de los casos.
- 2.- A la clase o intervalo de " $(M - 3\sigma)$  a  $(M + 3\sigma)$ " corresponde una frecuencia que representa aproximadamente el 99.7 por ciento del total de los casos.

De esta última conclusión se deduce que fuera de la clase o intervalo de " $(M - 3\sigma)$  a  $(M + 3\sigma)$ " se encuentra el 0.3 por ciento del total de los casos; por lo tanto, es prácticamente improbable encontrar al azar valores del fenómeno en estudio que se hallen fuera de las fronteras de la clase de " $(M - 3\sigma)$  a  $(M + 3\sigma)$ ", términos cuyas desviaciones sean mayores que  $3\sigma$  o menores  $-3\sigma$ .

Como se comentó anteriormente, la curva normal queda definida perfectamente por el promedio aritmético, la ordenada  $Y_0$  y el parámetro de dispersión o desviación estándar.

Desviación estándar.- Conocida también con los nombres de desviación típica y desvia--

ción cuadrática media, es el índice de variabilidad más usado, su expresión matemática es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{N}}$$

### 3.1.2 CARTAS DE CONTROL.

" En la vida real no existe la constancia. Existe, sin embargo, algo que puede llamarse un SISTEMA DE CAUSAS CONSTANTE. Los resultados producidos por un sistema de causas constante varían y, de hecho, pueden variar en una banda amplia o en una banda estrecha. Varían, pero sin embargo, presentan una importante característica llamada ESTABILIDAD. ¿ Por que se aplican los términos CONSTANTE Y ESTABILIDAD a un sistema de causas que produce resultados que varían ? . Debido a que el mismo porcentaje de estos resultados variables continua cayendo entre cualquier par de límites dados, hora tras hora, día tras día, siempre y cuando el sistema de causas constante continúe operando. Es la DISTRIBUCION de los resultados la que permanece constante o estable. Cuando un proceso de manufactura se comporta como un sistema de causas constante, produciendo resultados de inspección que exhiben estabilidad, se dice que se encuentra bajo CONTROL ESTADISTICO. La gráfica de control nos dirá si un proceso se encuentra bajo control estadístico.- W. E. Deming.

En esta parte, una vez que se ha descrito a grandes rasgos el comportamiento probabilístico del concreto en el inciso anterior, se propone ahora un diseño de cartas de control

que es empleado exitosamente en una compañía premezcladora y que se apoya en el procedimiento estadístico presentado en el inciso 3.1.3.

Las cartas de control que a continuación se proponen, permiten mantener dentro de los niveles de calidad especificados, los parámetros que interesan, esto es, el promedio  $\bar{X}$  y la dispersión expresada por rango  $\bar{R}$ .

Este sistema se ideó para minimizar al máximo el número de cartas de control, asimismo de una manera confiable y rápida controlar simultáneamente el nivel de calidad del concreto elaborado en diez plantas, con un volumen de producción mensual del orden de cincuenta mil metros cúbicos.

Antecedentes.- Comercialmente el concreto premezclado se vende de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Por resistencia.-  $f'c$  ( 100, 150, 200, 250, 300, 350 )  $kg/cm^2$ .
- Por tipo.- Normal o Rápido.
- Por tamaño máximo de agregado: 20 mm. y 40 mm.
- Por revenimiento.- 10, 14, 14B, 18B cms.

Al responsable de la calidad del concreto le interesa:

- Que en todas sus plantas se obtenga el mismo nivel de calidad.
- Estimar lo más pronto posible los resultados de resistencia que alcanzarán los concretos producidos, y si existe indicio de que esto se aparte de lo deseado, ejercer la acción correctiva.
- Obtener la información de sus gráficas en el menor tiempo posible. Es decir, no tener que analizar diariamente 100 hojas para darse cuenta de " como va la cosa ".

A la compañía le interesa:

- Que su técnico haga las cosas bien.
- Que se disponga del menor personal posible, en este caso se hace referencia a los procesadores de datos o estadígrafos.
- Que se gaste el menor material posible.

Analizando inicialmente la clasificación de como se vende el concreto, en combinación con los dos primeros puntos que al técnico interesa, resultaría el siguiente número de cartas de control.

- Se requiere como ya se dijo, obtener valores a edades iniciales, intermedias y finales, esto para que se pueda ejercer una acción correctiva oportuna a la vez de establecer correcciones entre ellos, lo que permitirá hacer inferencias.

De acuerdo a lo anterior, se necesita construir cartas de control para  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  a 3, 7, 14 y 28 días.

- Hay quien para simplificar, recurre a expresar las diferentes resistencias en porcentaje, incluyendo todas en una sola gráfica. Esta práctica es inadecuada como se demuestra en 3.1.3. Por consiguiente, hay que expresar los resultados de resistencia en kg/cm<sup>2</sup>. lo que conduce a construir las gráficas indicadas en el punto anterior, para cada resistencia.
- Obviamente al tener concretos de resistencia normal y de resistencia rápida, a su vez que hay que hacer todas las gráficas mencionadas para estos dos tipos.
- Si es que el técnico desea controlar por separado cada una de sus plantas, deberán a su vez hacerse para cada una de ellas.

Veamos pues, cuántas cartas de control resultarían. Suponiendo que en un sólo pliego se pusiera para una determinada resistencia, tipo y planta, todas las cartas de  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  para las diferentes edades 3, 7, 14 y 28 días se tendría:

	$f'c = 100$ NORMAL	$f'c = 100$ RAPIDO
	$f'c = 150$ NORMAL	$f'c = 150$ RAPIDO
Planta No. 1	$f'c = 200$ NORMAL	$f'c = 200$ RAPIDO
	$f'c = 250$ NORMAL	$f'c = 250$ RAPIDO
	$f'c = 300$ NORMAL	$f'c = 300$ RAPIDO
	$f'c = 350$ NORMAL	$f'c = 350$ RAPIDO

Es decir se necesitarían 12 pliegos por planta o sea 120 para 10 plantas. Esto, sin embargo, es correcto, y si no se dispusiese de otro sistema, que sin incurrir en el error permitiera reducir el número de cartas, así tendría que hacerse. La única alternativa sería no fabricar cartas para cada planta, para lo cual se incluirían todas las plantas en una sola gráfica. Esto ya representa un gran ahorro, pero aún así se necesitarían doce pliegos. Adicionalmente existen algunos problemas más, como el que a continuación se describe. En determinadas ocasiones ciertas resistencias de concreto, por su demanda se incrementan notablemente, pero que en otros casos prácticamente no se producen, siendo este aspecto el que afecta, ya que los valores aislados que en estas cartas se anotan, no son suficientes, por lo que no se puede con ellos efectuar estadísticas. Además de que prácticamente estas cartas no proporcionan información, no se puede sumar estos resultados al conjunto y aprovecharlos para efectuar una estadística global. Desgraciadamente no se sabe cuando va a suceder esto, y ya que las cartas de control generalmente se hacen mensuales, se desperdicia tanto el trabajo de hacer los rayados como el propio material.

Las cartas de control propuestas, permiten en un sólo pliego llevar el control de las diferentes resistencias, los diferentes tipos y las diferentes plantas, y por consecuencia los diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado, es decir, todos los diferentes concretos que se producen.

Por otra parte, facilita el empleo de los valores ahí anotados, de tal suerte que con ellos, en el momento en que se deseé, pueden efectuarse estadísticas consistentes, sobre todo para estimar los parámetros de dispersión, ya que para su aprovechamiento se utilizan en suma todos los valores. Asimismo, en lo que se refiere a promedios, sobrediseños y porcentajes de valores por debajo de  $f'c$ . También es posible en función de los datos de producción, conocer confiablemente las características, no sólo de la distribución muestral como en muchos casos se hace, sino de toda la producción que es lo que realmente interesa.

La teoría general de las cartas de control, se basa en la distribución de frecuencias del índice que estemos 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 simétricamente 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 construirían cartas ya sea de desviación estándar, o bien de rangos en subgrupos de determinado número de va

lores, cuyos límites de control son función también de la forma de su distribución.

Como ya se ha comentado, interesa tener información de la resistencia del concreto (como índice de calidad) que se está produciendo, lo más pronto posible. Esta es la razón por la que en función de la correlación que existe de estos parámetros a edades tempranas, con las de diseño, se obtienen proporciones consistentes que permiten confiablemente predecir los valores finales.

Sobre todo en el caso de promedios, es alta la correlación existente entre edades tempranas inclusive a tres días, y las edades de diseño. Quien haya construido correctamente estas cartas de control, y al decir correctamente nos referimos a que haya tomado en cuenta variables tan importantes como finura en el cemento y temperatura, estará de acuerdo en que al comparar la gráfica de tres días con la de veintiocho, existe entre ambas una sorprendente similitud.

Por supuesto que de estos principios generales es que se ha partido para el caso en cuestión, resolviendo los problemas que anteriormente se mencionaron.

En el inciso 3.1.3 se propone un procedimiento estadístico que permite evaluar en forma parcial y total el nivel de calidad del concreto producido a nivel industrial. Se considera que el éxito del mismo, radica en que se pueden aprovechar todos los resultados de los ensayos efectuados en un lapso determinado por una premezcladora, para que en suma permitan obtener sin ambigüedades los parámetros que definen su nivel de control. Esto con los sistemas convencionales no es posible, porque invariablemente se recurre, o bien a expresar las resistencias en porcentaje para poder agrupar todos los valores, resultando parámetros de resistencia y dispersión totalmente distorcionados a la vez que demasiado optimistas, ya que al seguir este tratamiento, errores compenzan a errores y el índice obtenido indica valores diferentes a la realidad. O bien obtener una gran cantidad

de parámetros, correspondientes por decir algo a los diferentes tipos y resistencias, que tampoco nos sirven, ni siquiera para establecer comparaciones entre diferentes períodos de operación, ya que en estos, las variables de producción y muestreo no es posible que se hayan conservado constantes. En efecto, en este caso no estaríamos comparando parámetros únicos de resistencia y dispersión correspondientes a períodos diferentes, sino que trataríamos de hacerlo con una serie de valores por ejemplo de promedios de resistencias, sin que hayan sido iguales los volúmenes de producción, ni las frecuencias de muestreo. Pues bien, en base a este sistema, estas cartas de control agrupan igualmente todos los resultados.

El principio del que se parte, consiste en que la dispersión de valores para las diferentes resistencias comerciales, esto es, desde 100 kg/cm<sup>2</sup> hasta 350 kg/cm<sup>2</sup>, sensiblemente es del mismo orden. En efecto si se cuenta con resultados suficientes de ensayos de cilindros obtenidos durante un cierto período de producción de concreto, y estos se agrupan de acuerdo a su resistencia de diseño, al obtener los parámetros de dispersión de cada conjunto de valores, es decir, de los concretos de  $f'c = 100$  kg/cm<sup>2</sup>, 150, etc., se verá que son del mismo orden.

El principio expuesto está indicando, en primer término, que la franja en que variarán los valores de los cilindros, será de la misma amplitud para las diferentes resistencias.

Dicho de otra forma, el valor del rango en el conjunto de los resultados del concreto diseñado para  $f'c = 100$  o 150 kg/cm<sup>2</sup>, será del mismo orden que para el conjunto de valores de  $f'c = 200$  o 350 kg/cm<sup>2</sup>.

En segundo término, que el sobrediseño en resistencia requerido para lograr un determinado nivel de calidad, será el mismo en kg/cm<sup>2</sup> para los diferentes  $f'c$ . Esto resulta claro,

ya que el sobrediseño es función de la probabilidad que se haya fijado de obtener valores mayores a determinado límite, lo cual es constante para las diferentes resistencias de diseño, ya que todas deben cumplir con el mismo nivel de calidad. Asimismo, este sobrediseño es función de la dispersión de valores del conjunto o universo, y como ya se dijo, este es del mismo orden en las diferentes  $f'c$ .

Partiendo de esta base, se tiene solucionada una parte del problema, no obstante, queda otra parte:

Como ya se mencionó, es condición que para no alterar el valor de los parámetros de la población, se expresen los resultados de los ensayos en sus unidades, esto es, en  $\text{kg/cm}^2$ . Pues bien, si se quiere incluir en una sola carta de control diferentes  $f'c$  no sería posible, debido a que los distintos conjuntos presentan medias de diferente orden. Suponiendo que de acuerdo a especificaciones, el sobrediseño deba ser de 30  $\text{kg/cm}^2$ , la media del concreto de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  que se tendría que trazar en la carta de control, -- corresponderá a 130  $\text{kg/cm}^2$  en el eje de las ordenadas, de la  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , corresponderá en igual forma a 230  $\text{kg/cm}^2$  y así para todas las  $f'c$  por lo que se comprende fácilmente que ésto no sería posible " a menos que ", se pudiera sin alterar la forma y amplitud de variación del universo hacer coincidir todas las medias en una sola.

Esta segunda parte del problema, se resuelve simplemente analizando lo que es dispersión o variación por una parte, y por la otra logrando conservar la forma y simetría de la población con respecto a su media, esto se explica a continuación:

Por dispersión o variación, se entiende el grado en que un conjunto de datos numéricos tiende a extenderse alrededor de un valor medio. En efecto, para complementar lo ante

rior, se puede citar a la desviación estándar, como un parámetro típico que permite determinar la dispersión de una población. Esto es en esencia una integral de diferenciales de área multiplicadas por la distancia al cuadrado de su centroide o la media de la distribución.

Analizando lo anterior, se observa que la desviación estándar o cualquier medida de la dispersión de una población, se conservará constante independientemente de la abscisa a la que se traslade su media.

A lo que se refiere a no alterar la forma de la distribución, ni la simetría de ésta con respecto a su media, se logra obteniendo una nueva distribución idéntica a la original, únicamente que con dispersión en valores absolutos.

En síntesis, para poder agrupar todas las diferentes  $f'c$  en una sola carta de control, lo que hay que hacer es: inicialmente obtener para cada conjunto de una misma resistencia de diseño, la media de su distribución. En seguida trasladar todas estas distribuciones, - desplazando sus medias a un origen, puede emplearse el cero. Una vez ahí, encontrar - los nuevos valores de cada dato de resistencia original, los cuales serán en ese momento valores absolutos.

Estos valores absolutos son los que se gráficán en las cartas de medias. En lo que respecta a las cargas de rangos, no existe tampoco problema alguno, ya que el rango en los subgrupos de " N " elementos que se escojan, será el mismo al usar valores absolutos, - que al usar valores reales.

Cómo construir estas cartas control:

El objeto de seguir este sistema de control, es poder llevar un proceso de producción industrial a los límites de control deseados y mantenerlos ahí. En consecuencia los valores

de dispersión y sobrediseño para construir estas cartas los debemos proponer, es decir, se rá la meta. Claro está que en un principio los valores que se grafiquen en estas cartas no van a corresponder a lo deseado, pero precisamente esa es la idea, que se vaya encontrando las causas asignables y se tome la acción correctiva que progresivamente conduzca al objetivo deseado.

A continuación se enumeran los pasos a seguir para construir estas cartas de control de medias  $\bar{X}$  y rangos  $\bar{R}$ .

- 1.- Inicialmente se debe contar con un número suficiente de resultados de las diferentes resistencias comerciales que se produzcan (aproximadamente 25 de cada f'c). Lógicamente se debe tener de cada uno de estos valores sus correspondientes a todas las edades que se vayan a controlar; lo común cuando se utiliza curado estándar, es 3-días, 7 días y edad especificada, es decir 14 días para el concreto de resistencia rápida y 28 días para resistencia normal.
- 2.- Obtener de los tres grupos (3, 7, E. E.) de cada f'c su media y su desviación estándar, esto en kg/cm<sup>2</sup>.
- 3.- Una vez hecho esto, se establecerá la proporción resultante (tanto de  $\bar{X}$  como de  $\bar{R}$ ) a las diferentes edades, en función del valor de estos parámetros a la edad de diseño. Para cada f'c se obtendrá una proporción diferente, por ejemplo si la f'c es de 100 kg/cm<sup>2</sup>, seguramente se encontrará que a 3 y 7 días respectivamente se tiene del orden del 40 y 60 por ciento de la resistencia a 28 días en un concreto de tipo normal, en tanto que para una f'c = 350 kg/cm<sup>2</sup> también normal, a 3 días se tendrá una resistencia del orden del 60 por ciento y a 7 días se encontrará cerca del

80 por ciento.

4.- Después de obtener estos valores, y en función de la dispersión que se haya propuesto tener en la producción, y en consecuencia el sobrediseño. Proporcionalmente a los porcentajes encontrados en el punto anterior, se obtendrá para cada resistencia o  $f'c$  la media de la carta de  $\bar{X}$  a sus diferentes edades, y los límites de control superior o inferior de acuerdo al nivel de confianza que se haya escogido, se recomienda  $2\sigma$ , ya que éste dá una buena probabilidad del orden de un 95 por ciento. Para las cartas de rangos  $\bar{R}$ , es exactamente lo mismo, sólo que habrá que obtener con los valores de la desviación estándar y de acuerdo al número de elementos de los subgrupos, el valor de  $\bar{R}$  y los límites superior e inferior. Esto se encuentra en tablas, por ejemplo, para subgrupos de cinco elementos el valor de la constante  $d_2$  es de 2.326 y la expresión usada  $d_2 = R/\sigma'$ , entendiéndose por  $\sigma'$  el valor estimado de la desviación estándar del universo.

Ahora bién, para los límites superior e inferior también existen tablas de factores, que como ya se dijo, estan basados en la distribución normal, pero que en el ejemplo se trata, son los siguientes:

El límite inferior para subgrupos de 5 elementos es 0

El límite superior es  $D_4 \bar{R}$ . para  $n=5$ ,  $D_4=2.11$

Para ilustrar un poco más este punto 4, se pondrá el siguiente ejemplo: supongase que se analiza el comportamiento de un concreto de  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup> normal, se contaría por consiguiente con 3 grupos constituidos por 25 valores cada uno, esto es el grupo formado por las resistencias que presentaron estas 25 mezclas a 3 días, el grupo de las resistencias que se obtuvieron a 7 días y finalmente el tercer grupo --

constituido por los resultados a la edad final. Claro está que los cilindros de 3, 7 y 28 días son compañeros y en consecuencia están indicando la resistencia que cada una de estas 25 mezclas representaron cuando únicamente tenían 3 días, al llegar a los 7 y finalmente a su edad especificada.

Una vez realizadas estas estadísticas encontramos los siguientes valores:

<u>Edad en días</u>	<u>f'c en kg/cm<sup>2</sup></u>	<u><math>\bar{R}</math> en kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>% f'c</u>	<u>% <math>\bar{R}</math></u>
3	92	36	44	80
7	147	35	70	80
28	210	45	100	100

Por otro lado, se ha fijado como meta, una desviación estándar de 30 kg/cm<sup>2</sup>, por consiguiente la fcr. o resistencia requerida para un concreto clase "A" DGN C-155, será:

$$fcr = f'c + t$$

Donde  $t = 0.846$  ( constante empleada para que no más de un 20 por ciento de los resultados de los ensayos caigan por debajo de  $f'c$  )

$$fcr = 200 + 25$$

$$fcr = 225$$

De acuerdo a estos parámetros encontrados,  $X = 225$  kg/cm<sup>2</sup> y  $s = 30$  kg/cm<sup>2</sup>.

Las medias de  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  a 3, 7 y 28 días, quedarán como se indica a continuación:

<u>Edad en días</u>	<u>f'c en kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>en kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>% f'c</u>	<u>%</u>
3	99	24	44	80
7	158	24	70	80
28	225	30	100	100

Los valores de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  a 3, 7 y 28 días, se utilizarán más adelante para que con ellos y los de las otras  $f'c$ , se elabore una tabla que permita encontrar, de acuerdo a la edad y a la  $f'c$ , los valores absolutos que se graficarán en las cartas de control.

En lo que se refiere al valor de la desviación estándar que se utilizará para fijar los límites de control en las cartas de  $\bar{X}$  y para fabricar las cartas de  $\bar{R}$ , es claro que a la edad especificada será  $\bar{\sigma} = 30 \text{ kg/cm}^2$  y a edades de 3 y 7 días se encontrará que en promedio para las diferentes  $f'c$ , será de un mismo orden, y que bien pudiera como en el caso del ejemplo acercarse a  $24 \text{ kg/cm}^2$ . En base a esto los límites de control superior e inferior para las cartas de  $\bar{X}$ , estarán a una distancia de  $\pm 60 \text{ kg/cm}^2$ , esto es,  $\pm 2$  para la edad especificada, y de  $\pm 48 \text{ kg/cm}^2$  para 3 y 7 días.

En el caso de las cartas  $\bar{R}$ , suponiendo que se haya elegido subgrupos de 5 elementos, se tendrá como rango promedio a la edad especificada  $\bar{R} = 30 \times 2.326$ ;  $\bar{R} = 70 \text{ kg/cm}^2$  y como límite superior de control L.S.C. =  $2.11 \times \bar{R}$  L.S.C. =  $148 \text{ kg/cm}^2$  y para 3 y 7 días obviamente los valores corresponderán al 80 por ciento de los de la edad especificada.

Se considera importante anotar que en el caso de las cartas de  $\bar{R}$ , el nivel de confianza con el que se obtuvieron los factores de las tablas para  $d_2$  y  $D_4$ , fué de 99.73 por ciento, es decir, el correspondiente a  $3\bar{\sigma}$ .

5.- En este punto, finalmente se dirá como obtener los valores absolutos, que serán los que gráficamente en las cartas de control, que ya han sido elaboradas, lo cual es muy sencillo. Hace un momento, apenas unas cuantas líneas atrás, en el ejemplo que

so ilustró, se encontró las resistencias promedio que en  $\text{kg/cm}^2$  debía haber presentado las distribuciones de frecuencias de los universos a la edad de 3 y 7 días y a la edad especificada en un concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ . Estas, conforme a los parámetros de diseño que se tenían como meta;  $f'cr = 225 \text{ kg/cm}^2$ , que es con los que se elaboran las cartas de control. En la misma forma se obtendrían los demás valores, para las otras resistencias de diseño, es decir, para  $f'c = 100, 150, 250, 300$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$ .

Con todos estos datos, se elabora una tabla, y en el momento en que se van a graficar los resultados de los ensayos de los cilindros, simplemente se compara el resultado obtenido en una determinada mezcla a cierta edad, con el valor teórico marcado en nuestra tabla. Se hace la resta y esta diferencia conservando su signo será la que se grafique en las cartas de control de  $\bar{X}$ , las cuales tendrán como media " cero ", siendo hacia arriba la escala será positiva y hacia abajo negativa.

6.- En este punto, únicamente se comentará algunos aspectos que no se contienen en los otros, debido a que no son esenciales, pero que le dan a estas cartas mayor claridad y versatilidad.

- Puede considerarse que el comportamiento de los concretos de resistencia rápida, es el equivalente a los normales de una resistencia inmediata superior, es decir, a un concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  resistencia rápida, se le puede dar el tratamiento de un concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  normal. Para saber rápidamente en las cartas de control si se trata de uno o de otro, simplemente se pueden marcar con diferente color, o uno con cruz y el otro con un pequeño círculo.

- Para saber de que resistencia se trata, se ha recurrido al expediente de asignar -

una letra a cada resistencia, de este modo resulta que la  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  corresponde a la letra " A " y así sucesivamente en orden de creciente hasta llegar a la  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ , que corresponde a la letra " F ", las cuales se ponen junto al punto gráficado.

- Otra práctica que se sigue, es que en un sólo pliego se hacen todas las cartas de control  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$ , para que los puntos marcados en ellas coincidan entre sí siguiendo una línea vertical para las diferentes edades, al extremo de las cuales se ponga la fecha en que se produjo el concreto y la planta de la que salió.

A continuación se anexa una copia conteniendo cartas de control elaboradas siguiendo este sistema, en las que se han gráficado datos reales para controlar en un lapso determinado un proceso de producción de concreto en una compañía premezcladora.

### 3.1.3 EVALUACION DE RESULTADOS Y REPORTE.

En este inciso se propone un procedimiento estadístico, que permite evaluar en forma parcial y total el nivel de calidad del concreto producido a nivel industrial.

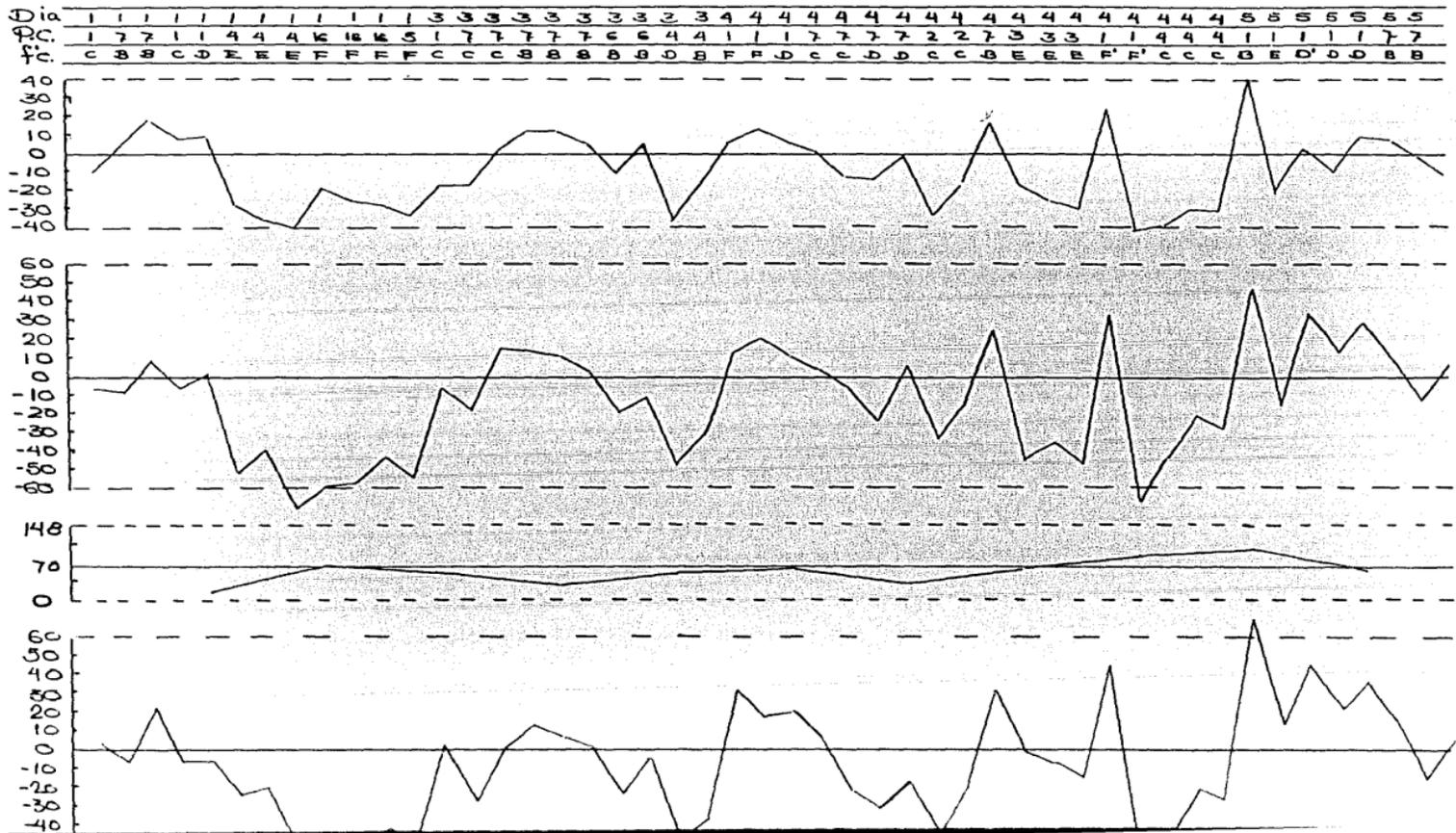
Dada la diversidad en las características físicas de los diferentes concretos que se producen, es necesario que cada uno de estos se encuentre en el nivel de calidad requerido, asimismo, verificar que esta situación se mantenga para las diferentes condiciones de producción de una empresa, condiciones que están dadas en función de los equipos dosificadores, tanto como de los materiales y operación.

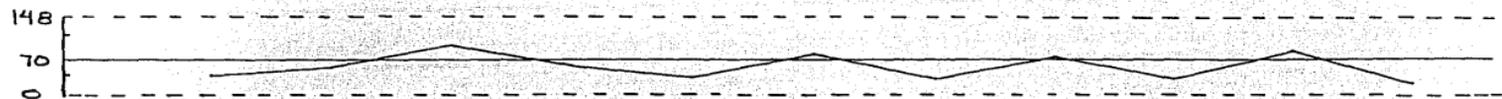
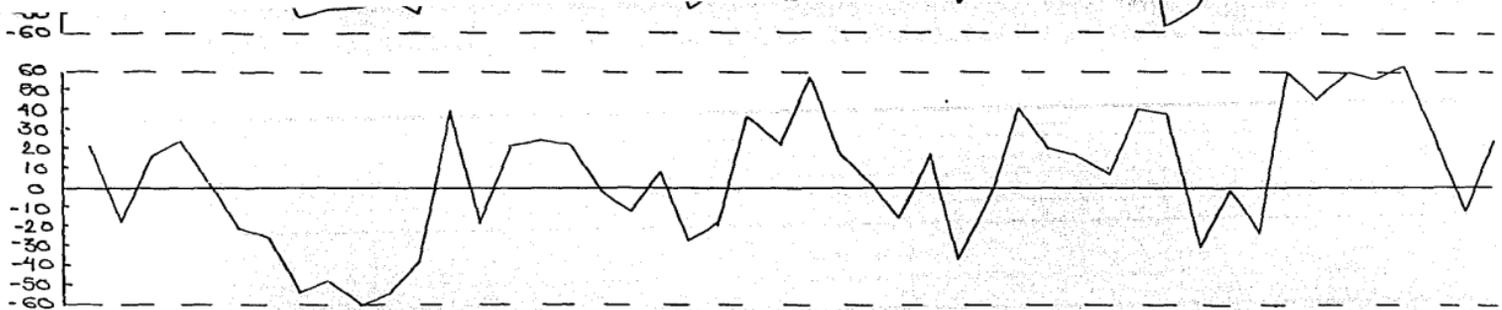
Este nivel de calidad requerido se traduce en índices de dispersión y sobrediseños de resistencias principalmente, los cuales se tratarán.

La dispersión de valores de resistencia en la producción de concreto a nivel industrial, es

# PARTE 'A'

Cartas de control de  $\bar{X}$  y  $\bar{R}$  correspondientes a Abril-1978





PART B'

función de todas y cada uno de las variables que se conjugan en el proceso, situación que permite analizar en conjunto todos los resultados del ensaye de cilindros, de las diferentes clases y tipos de concreto a su edad especificada, siempre y cuando estos valores se procesen adecuadamente.

A continuación se analiza el procedimiento estadístico, consistente en expresar en porcentajes los resultados del ensaye en cilindros de diferentes resistencias, asimismo, se describe y analiza el procedimiento que nos ocupa.

Para ejemplificar lo anterior, se ha elaborado un modelo teórico, consistente en evaluar los índices de dispersión y sobrediseño del concreto producido en cuatro diferentes resistencias, para lo que se cuenta con resultados de laboratorio consistentes en 398 muestras distribuidas de la siguiente manera:

$$f'c = 100 - N - 40 - 10 - N = 96 \text{ muestras.}$$

$$f'c = 200 - N - 8 - N = 96 \text{ muestras.}$$

$$f'c = 300 - RR - 20 - 10 - N = 98 \text{ muestras.}$$

$$f'c = 400 - N - 20 - 10 - N = 106 \text{ muestras.}$$

Ver tabla No. 1

Al analizar individualmente cada uno de estos concretos, se obtuvieron los siguientes parámetros:

$$f'c = 100 - N - 40 - 10 \quad N = 96$$

$$\bar{X} = 130 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$N = 96$$

$$f'c = 200 - N - 20 - B$$

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

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

$$N = 98$$

$$f'c = 300 - RR - 20 - 14$$

$$\bar{X} = 330 \text{ kg/cm}^2.$$

$$S = 33 \text{ kg/cm}^2.$$

$$N = 106$$

$$f'c = 400 - N - 20 - 10$$

$$\bar{X} = 430 \text{ kg/cm}^2.$$

$$S = 37 \text{ kg/cm}^2.$$

De los valores de dispersión, se deduce que al ser del mismo orden, fué consecuencia de un adecuado control implantado de manera similar en toda la producción, en tanto que se logro un igual sobrediseño para cada caso de 30 kg/cm<sup>2</sup>, como puede verse, el sobrediseño en función a la dispersión, es el requerido para concreto utilizado en estructuras diseñadas por el método de esfuerzos de trabajo.

Como se requiere presentar una evaluación global de la calidad del concreto producido, inicialmente se recurrirá a expresar cada resultado del ensaye de los cilindros a su edad especificada, en porcentaje y con los 398 valores ( en porcentaje ) obtendremos la  $\bar{X}$ , la S y el C. V.

$$N = 398$$

$$\bar{X} = 115 \% = 280 \text{ kg/cm}^2.$$

$$S = 20 \% = 56 \text{ kg/cm}^2.$$

$$C. V. = S / \bar{X} = \frac{56 \text{ kg/cm}^2}{280 \text{ kg/cm}^2} = 20 \%$$

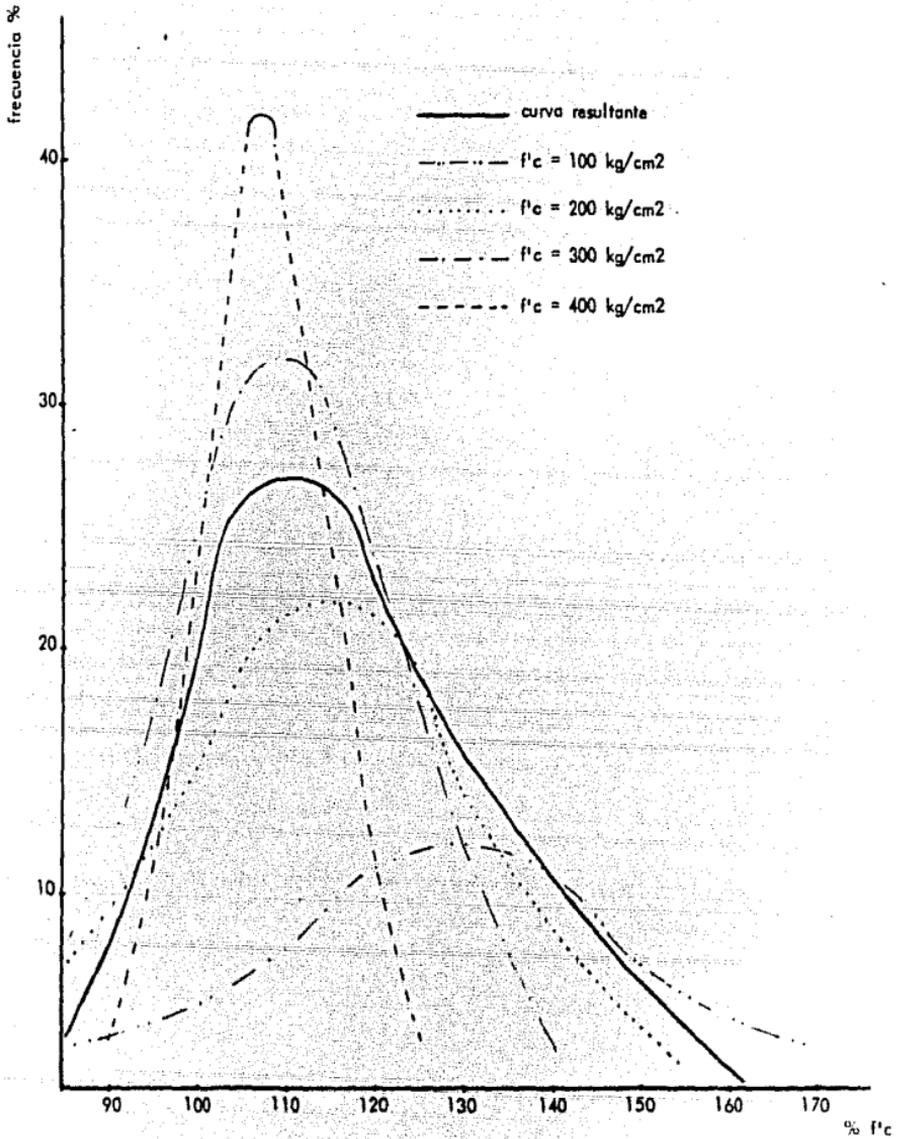
Analicemos estos resultados:

- 1.- Se obtiene un C. V. = 20 por ciento que de acuerdo con A.C.I. 214-65 es malo.
- 2.-  $\bar{X} = 115$  por lo tanto al obtener el porcentaje de valores de resistencia menores a  $f'c$ , como función de C. V. y  $\bar{X}$ , resulta mayor del 20 por ciento.
- 3.- Al analizar la  $S = 20$  por ciento en  $\text{kg/cm}^2$ , ya que es porcentaje de una distribución muestral de  $\bar{X} = 280 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene  $S = 56 \text{ kg/cm}^2$  mucho mayor que lo real, la cual es del orden de  $33 \text{ kg/cm}^2$ .

¿ Ahora bien, por que sucedió esto ?.

Al expresar estas cuatro distribuciones en porcentaje, la primera de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  se mantuvo igual, esto es, su  $\bar{X} = 130$  por ciento y  $S = 31$  por ciento, la segunda presentó una  $\bar{X} = 115$  por ciento y  $S = 15$  por ciento, la tercera presenta una  $\bar{X} = 110$  por ciento y  $S = 10$  por ciento, la cuarta presentó una  $\bar{X} = 107.5$  por ciento y  $S = 7.5$  por ciento, lo cual las sitúa en las abscisas, desfasadas en cuanto a su media y con diferente forma, esto es, cada vez más cerradas y esbeltas, por lo cual la distribución resultante que se acaba de analizar es una curva sesgada y asimétrica, como se ve en la Fig.7 y los parámetros de esta nueva curva obtenidos, son inexactos.

A continuación se presenta el procedimiento consistente, ya no en recurrir al expediente de expresar los resultados de las diferentes resistencias en porcentaje, sino de respetar la dispersión propia de cada distribución en valor absoluto de distancia con respecto a su media, ya que esta dispersión se mantiene independientemente del valor de la abscisa en que situemos la  $\bar{X}$ .



Para poder conjugar todos los resultados de resistencia, únicamente se requiere de una -  
 translación de ejes de las diferentes distribuciones a un mismo punto, lo que permite ob-  
 tener una curva resultante para la cual el modelo de la curva normal es válido, y en -  
 la que se aporta una serie de valores de resistencia que en suma colaboran a obtener una  
 estadística más consistente que permite conocer de una manera clara la dispersión de va-  
 lores de esta empresa y a su vez su control. Lo anterior se muestra en la Fig. 8

El valor de la dispersión resultante de esta curva es de  $S = 33$ .

Por lo que se ve que se ha respetado lo sucedido en cada una de las distribuciones.

Aún queda un problema por solucionar ¿ Cual es la media del concreto producido ?.

Esta se obtiene no en un promedio global, lo cual tiende a compensar en un momento da-  
 do inadecuados sobre diseños, sino en sobre diseño ponderado de cada una de los diferen-  
 tes concretos elaborados, en función de su volumen producido, lo cual da realmente la -  
 cantidad en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  que se dió como sobrediseño, ya no en la distribución muestral sino  
 en toda la producción, y como consecuencia lógica se obtiene cuantas revolturas de todo  
 el concreto producido fueron menores a  $f'_c$ .

Ejemplo:

Se produjeron 4 diferentes concretos, en los siguientes volúmenes:

$f'_c = 100 - N - 20 - 10$	1,000 m <sup>3</sup>
$f'_c = 200 - N - 40 - 10$	10,000 m <sup>3</sup>
$f'_c = 300 - N - 20 - 10$	3,000 m <sup>3</sup>
$f'_c = 400 - N - 20 - 10$	500 m <sup>3</sup>

Se tomaron 120 muestras, esto es, que se cuenta con 30 resultados de dispersión y sobre-  
 diseño de resistencia de cada clase de concreto, los cuales se muestran en la siguiente -

frecuencia

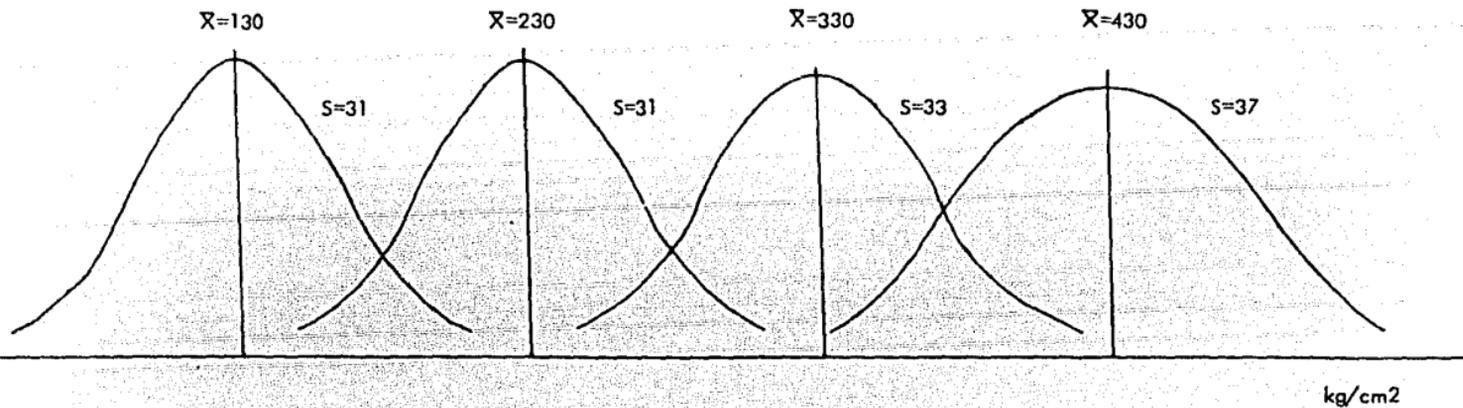
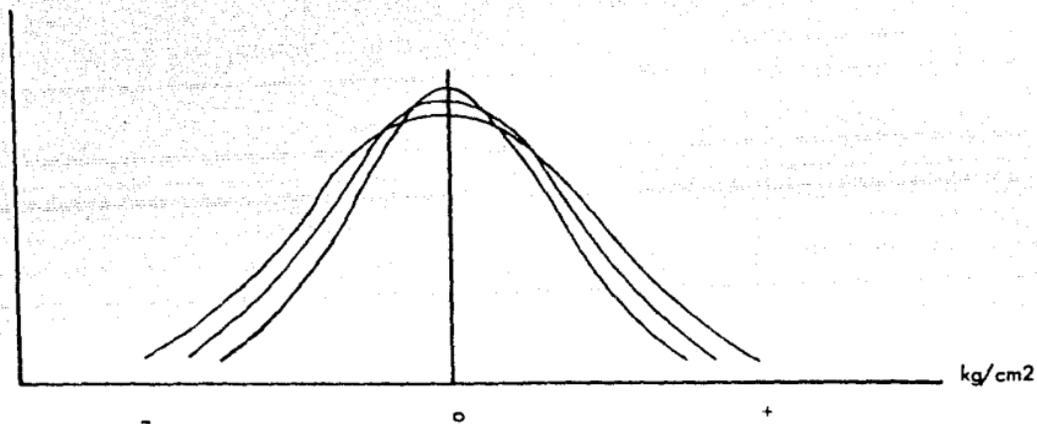


fig. No. 8



## DISTRIBUCION GLOBAL RESULTANTE

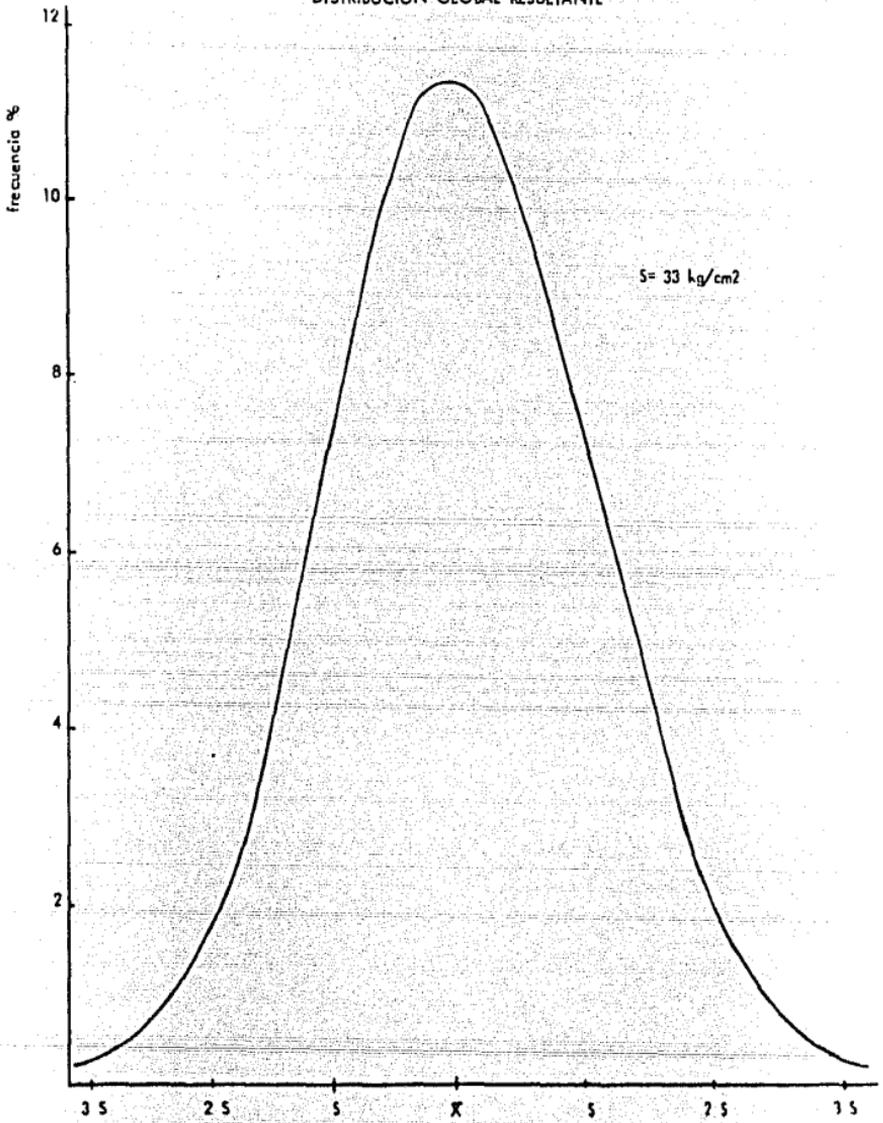


tabla:

<u>f' c</u>	<u>X̄</u>	<u>Sobre diseño</u>	<u>S</u>
100	150	50	35
200	210	10	40
300	330	30	30
400	430	30	35

Si se obtiene la dispersión y el sobre diseño de la distribución muestral tendremos:

$$S = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Sobre diseño} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

Si partimos de estos parámetros para estimar el nivel de calidad de todo el concreto producido, aparentemente se habrá dado el correcto, esto es, un sobre diseño adecuado para el valor de la dispersión, que permitió tener del orden de un 20 por ciento de valores menores a f'c.

Ahora bién, obtengase el sobre diseño y la dispersión ponderando estos parámetros en función del volumen producido de cada uno de estos concretos.

$$\text{Sobre diseño Ponderado} = \frac{(50)(1000) + 10(10,000) + 30(3,000) + 30(500)}{1000 + 10,000 + 3,000 + 500}$$

$$\text{Sobre diseño Ponderado} = 17.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$S \text{ Ponderado} = \frac{(35)(1000) + 40(10,000) + 30(3,000) + 35(500)}{1000 + 10,000 + 3,000 + 500}$$

$$S \text{ Ponderada} = 37.5 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo a estos parámetros, el porcentaje de valores menor a f'c fué de:

$$fcr = f'c + ZS$$

$$ZS = fcr - f'c$$

$$ZS = 17.5$$

$$Z(37.5) = 17.5$$

$$Z = \frac{17.5}{37.5} = 0.466$$

° ° valores menores a  $f'c \approx 32$  por ciento  $\neq$  20 por ciento

T A B L A 1

<u>100</u>	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>400</u>
60 114 142 181	160 214 242 281	250 313 341 315	340 410 436 461
69 115 143 182	169 215 243 282	260 314 342 381	350 411 431 471
70 116 144 183	170 216 244 283	269 315 343 382	358 412 438 472
78 117 145 191	178 217 245 291	270 316 344 383	359 413 439 473
79 118 146 192	179 218 246 292	278 317 345 391	360 414 440 474
80 119 147 201	180 219 247 301	279 318 346 392	369 415 441 475
86 120 148	186 220 248	280 319 347 401	370 416 442 481
87 121 149	187 221 249	286 320 348 411	378 417 443 482
88 122 150	188 222 250	287 321 349	379 418 444 483
89 123 151	189 223 251	288 322 350	380 419 445 491
90 124 152	190 224 252	289 323 351	386 420 446 492
94 125 153	194 225 253	290 324 352	387 421 447 501
95 126 154	195 226 254	294 325 353	388 422 448 502
96 127 155	196 227 255	295 326 354	389 423 449 503
97 128 156	197 228 256	296 327 355	390 424 450 511
98 129 157	198 229 257	297 328 356	394 425 451 521
99 130 158	199 230 258	298 329 357	395 426 452
100 130 159	200 230 259	299 330 358	396 421 453
102 131 161	202 231 261	300 330 359	397 428 454
103 131 162	203 231 262	302 331 361	398 429 455
104 132 163	204 232 263	303 331 362	399 430 456
105 133 164	205 233 264	304 332 363	400 430 457
106 134 165	206 234 265	305 333 364	402 430 458
107 135 166	207 235 266	306 334 365	403 431 459
108 136 167	208 236 267	307 335 366	404 431 461
109 137 171	209 237 271	308 336 367	405 431 462
110 138 172	210 238 272	309 337 371	406 432 463
111 139 173	211 239 273	310 338 372	407 433 464
112 140 174	212 240 274	311 339 373	408 434 465
113 141 175	213 241 275	312 340 374	409 435 466

 $\bar{X} = 130$  $\bar{X} = 230$  $\bar{X} = 330$  $\bar{X} = 430.5$

## T A B L A II

f'c en %

<u>100</u>	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>400</u>
60 114 142 181	80 101 121 141	83 104 114 125	85 103 109 117
69 115 143 182	85 108 122 141	87 105 114 127	88 103 109 118
70 116 144 183	89 109 123 146	90 105 115 128	90 103 110 118
79 118 146 192	89 109 123 146	93 106 115 130	90 104 110 119
80 110 147 201	90 110 124 151	93 106 115 131	92 104 110 119
86 120 148	93 110 124	93 106 116 134	93 104 111 120
87 121 149	93 111 125	95 107 116 137	95 104 111 121
88 122 150	94 111 125	96 107 116	95 105 111 121
89 123 151	95 112 126	96 107 117	95 105 111 123
90 124 152	95 112 126	96 108 117	97 105 112 123
94 125 153	97 113 127	97 108 117	97 105 112 125
95 126 154	97 113 127	98 108 118	97 106 112 126
96 127 155	98 114 128	98 109 118	97 106 112 126
97 128 156	99 114 128	98 109 118	98 106 113 128
98 129 157	99 115 129	99 109 119	99 106 113 130
99 130 158	100 115 129	99 110 119	99 107 113
100 130 159	100 115 130	100 110 119	99 107 113
102 131 161	101 116 131	100 110 120	100 107 114
103 131 162	102 116 131	101 110 120	100 107 114
104 132 163	102 116 132	101 110 121	100 108 114
105 133 164	103 117 132	101 111 121	101 108 114
106 134 165	103 117 133	102 111 121	101 108 115
107 135 166	104 118 133	102 111 122	101 108 115
108 136 161	104 118 134	102 112 122	101 108 115
109 137 171	105 119 136	103 112 122	102 108 116
110 138 172	105 119 136	103 112 124	102 108 116
111 139 173	106 120 137	103 113 124	102 108 116
112 140 174	106 120 137	104 113 124	102 109 116
113 141 175	107 121 138	104 113 125	102 109 117

 $\bar{x} = 115.69$ 

S = 20.4 por ciento.

---

 DISTRIBUCION DE LA DISPERSION EN VALOR ABSOLUTO
 

---

20 74 102 141	20 74 102 141	10 73 101 135	0 70 96 127
29 75 103 142	29 75 103 142	20 74 102 141	10 71 97 131
30 76 104 143	30 76 104 143	29 75 103 142	18 72 98 132
38 77 105 151	38 77 105 151	30 76 104 143	19 73 99 133
39 78 106 152	39 78 106 152	38 77 105 151	20 74 100 134
40 79 107 161	40 79 107 161	39 78 106 162	29 75 101 135
46 80 108	46 80 108	40 79 107 161	30 76 102 141
47 81 109	47 81 109	46 80 108 171	38 77 103 142
48 82 110	48 82 110	47 81 109	39 78 104 143
49 83 111	49 83 111	48 82 110	40 79 105 151
50 84 112	50 84 112	49 83 111	46 80 106 152
54 85 113	54 85 113	50 84 112	41 81 107 161
55 86 114	55 86 114	54 85 113	48 82 108 162
56 87 115	56 87 115	55 86 114	49 83 109 163
57 88 116	57 88 116	56 87 115	50 84 110 171
58 89 117	58 89 117	57 88 116	54 85 111 181
59 90 118	59 90 118	58 89 117	55 86 112
60 90 119	60 90 119	59 90 118	56 87 113
62 91 121	62 91 121	60 90 119	57 88 114
63 91 122	63 91 122	62 91 121	58 89 115
64 92 123	64 92 123	63 91 122	59 90 116
65 93 124	65 93 124	64 92 123	60 90 117
66 94 125	66 94 125	65 93 124	62 90 118
67 95 126	67 95 126	66 94 125	63 91 119
68 96 127	68 96 127	67 95 126	64 91 121
69 97 131	69 97 131	68 96 127	60 91 122
70 98 132	70 98 132	69 97 131	66 92 123
71 99 133	71 99 133	70 98 132	67 93 124
72 100 134	72 100 134	71 99 133	68 94 125
73 104 135	73 101 135	72 100 134	69 95 126

### 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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.

Puede suceder que si únicamente nos basamos en los resultados de prueba a 28 días, se coloquen grandes cantidades de concreto de mala calidad en puntos claves de la estructura y que cuando ésto se detecte no sea posible removerlo, viéndonos obligados a demoler toda la estructura.

En el caso de una compañía premezcladora, es imprescindible contar con información oportuna, acerca de la calidad del concreto que se está produciendo. Esto permitirá al técnico responsable, efectuar los cambios necesarios en el diseño de las mezclas, o bien en los procedimientos de producción, ambas cosas, con el objeto de mantener la calidad del concreto dentro de los límites establecidos.

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 1 o 2 días por lo que la -

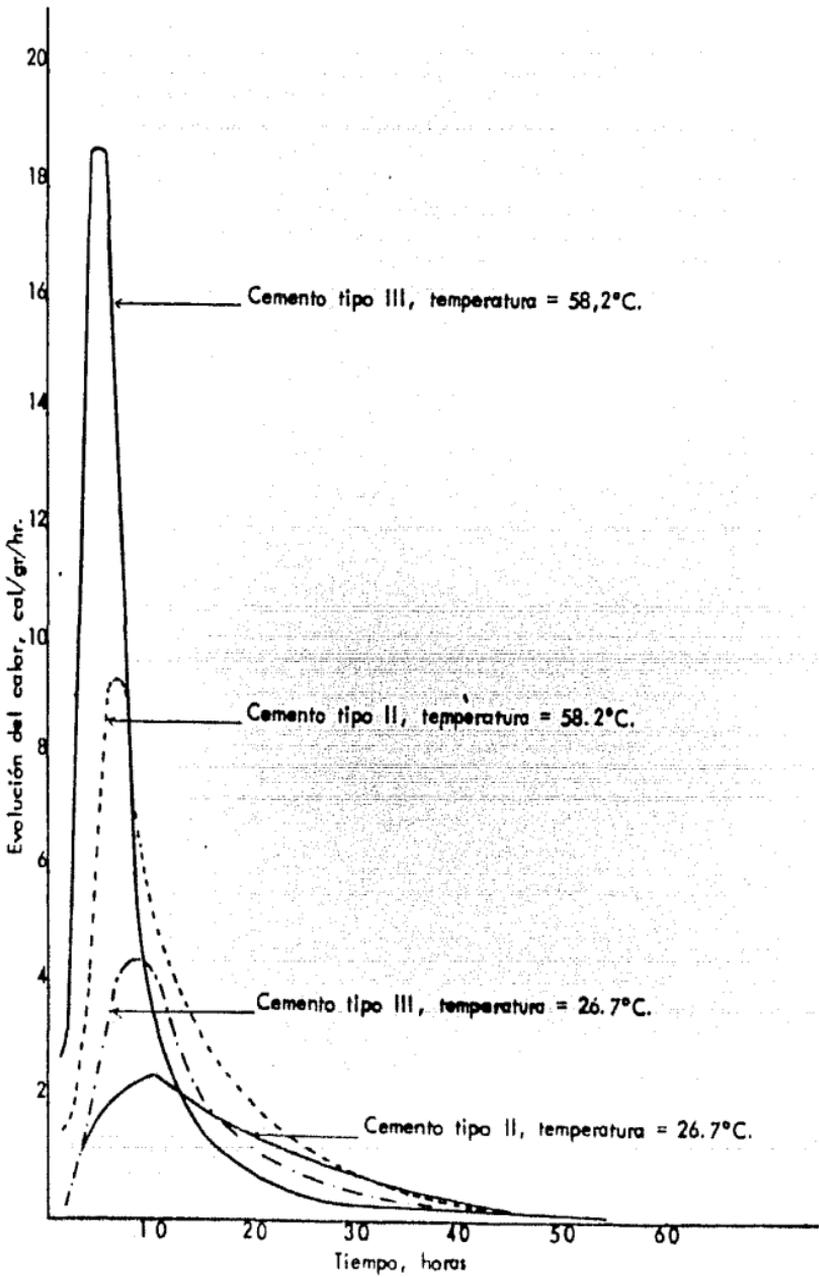
resistencia a la edad especificada puede estimarse razonablemente bien en pocos días.

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 acelera, 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., empleo un método consistente en elaborar cilindros estándar, manteniéndolos en condiciones normales de curado por 24 horas después de moldeados, sometiéndolos posteriormente a un baño de vapor saturado a una presión de 5.6 a 7 kg/cm<sup>2</sup> 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 du



rante la construcción del dique Hoover. El método consistía en hervir durante siete horas especímenes cilíndricos y enfriarlos, acabarlos 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 cms., 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, Sidney Australia, introducía en ésta durante 21 horas los especímenes, una hora después de haber sido elaborados, teniendo también esta prueba, una duración de 24 horas.

En 1959, la Institución de Ingenieros Civiles en Londres, creó el Comité de Pruebas Aceleradas cuyo cometido era examinar y comparar varios métodos de control de calidad del concreto, con la idea de desarrollar alguna prueba acelerada confiable, que permitiera esto en 1 o 2 días. Los resultados obtenidos fueron publicados en 1968, habiendo recomendado insistentemente el comité la necesidad de implantar el método de pruebas aceleradas.

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-i 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 ( ASTM C 684) 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  $35^{\circ}\text{C}$ , manteniéndose en ella durante  $23\frac{1}{2}$  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  $3\frac{1}{2}$  horas  $\pm$  5 minutos y el ensaye es a los  $28\frac{1}{2}$  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 cerrar 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 an- lizados.

Existe al respecto un estudio muy interesante realizado por el Ing. David Martínez E. El Ing. Martínez encontró la correlación existente, entre las resistencias alcanzadas a la edad de diseño en cilindros curados por el método estándar y las resistencias obtenidas empleando dos de estos métodos de curado acelerado ( los más usados ), el de agua hirviendo y el autógeno. Efectuó los análisis estadísticos con un número suficiente de valores. En el primer caso, contó con resultados de 100 mezclas, fabricadas en el Laboratorio de la compañía premezcladora que técnicamente dirige. Para el segundo método, dis- puso de una cantidad similar, 80 parejas de valores, de mezclas del concreto empleado en la construcción de la plantilla del vertedor de la presa en Angostura Chiapas.

Los resultados por él obtenidos son altamente satisfactorios, ya que las correlaciones resul- tantes, expresadas en función del coeficiente de correlación fueron respectivamente - -  $r = 0.90$  y  $r = 0.91$ , asimismo, el error estándar modificado en ambos casos fué realmente pequeño.

$S_{yx} \approx 15 \text{ kg/cm}^2$ . Esto nos indica que la franja en la que cayeron los valores fué de po- ca amplitud.

Por otra parte comprueba que el empleo de rectas de la forma  $Y = Mx + b$ , obtenida por el método de mínimos cuadrados, nos dan la aproximación adecuada a la forma real de la - distribución.

En este mismo estudio, encuentra correlaciones a 3, 4 y 7 días con respecto a la edad final, pero manteniendo en todos los casos a los especímenes en condiciones de curado estándar.

Los valores obtenidos fueron:

3 días  $r = 0.88$

4 días  $r = 0.89$

7 días  $r = 0.96$

Estos resultados, al igual que los anteriores son altamente satisfactorios y vienen a comprobar, que inclusive empleando métodos de curado estándar las inferencias que pueden y deben hacerse desde tempranas edades, son confiables.

Finalmente se considera conveniente enfatizar en el hecho de que estos sistemas de predicción están basados en métodos probalísticos, y que las estimaciones que se realicen deberán interpretarse cuidadosamente. Por otra parte, únicamente son válidos para las variables que se hayan considerado en cada estudio preliminar que permitió encontrar la función de esa recta de regresión. Por lo tanto, al cambiar cualquier variable, por ejemplo, el tipo de cemento o el empleo de determinandos aditivos, habría de encontrarse los nuevos parámetros de correlación.

### 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 encuentra en la estructura.

En efecto, esto sucede debido a que las condiciones de construcción, acomodo o vibrado, temperatura, humedad, etc., definitivamente son diferentes. En este momento podría hacerse la siguiente pregunta: ¿Qué razón de ser tiene el fabricar entonces cilindros de prueba? La respuesta es simple, 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 o no la potencialidad suficiente para alcanzar su resistencia de diseño. O bien que la causa de que esto no sucediera radica en los malos procedimientos que una vez elaborado y entregado éste, terminaron por afectarlo.

Por otra parte, la práctica nos indica que empleando este sistema, lo cual se ha venido haciendo desde hace más de 50 años, se han obtenido buenos resultados. En este segundo punto, se considera que esto bien puede haberse debido (en este momento se está viendo) a que ante la incertidumbre de que la resistencia en la estructura sea menor, igualmente se han venido utilizando coeficientes de seguridad muy altos, que de hecho no serían necesarios si se conociese realmente la resistencia del concreto en las construcciones.

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-destructivas o semidestructivas 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 cortar sin problema alguno el concreto, inclusive aquellos fabricados con agregados de gran dureza.

El método de obtención de estos corazones, se especifica en ASTM-C-42, donde se indica que equipo debe usarse, la edad mínima a la que deben extraerse, la forma en que éste debe hacerse, las dimensiones de los núcleos, la forma de ensaye, etc. Por otra parte en A.C.I. 318-71 se marca un criterio de evaluación de los resultados obtenidos en los corazones, para aceptación del concreto. Asimismo, se propone un procedimiento de curado de estos especímenes, para que al ensayarse se encuentren en condiciones similares a las del concreto en la estructura. A grandes rasgos, a continuación se describe lo anterior.

( ACI -318-71 ) 4.3.5.- 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 adecuado 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 sistema de curado, se sugiere que si el concreto de la estructura va a estar seco durante las condiciones de servicio, los corazones deberán secarse 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 corazones 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 extraerlos, puede dañarse la integridad de la misma en grados variables, dependiendo 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 relaciona con la resistencia a la compresión del mismo.

De estos procedimientos, el segundo es el más común; se 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 de 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, rebote 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 de martillo durante su aplicación sobre el concreto, - esto es, el ángulo que su eje normal guarde con respecto a un plano horizontal. El grado de humedad y la edad en el concreto son definitivas, no obstante se trate de una misma resistencia, ya que el valor del rebote en este caso será muy diferente. Por ejemplo: ( si uno de los concretos tiene una edad temprana 3 días y por consiguiente se encuentra saturado, y el otro ha alcanzado la misma resistencia, por decir algo, a 6 meses, y consecuentemente esta seco ).

La densidad y porosidad de los agregados; un concreto fabricado con agregados andesíticos, para una misma resistencia presentará valores de rebote más altos, que en el caso - de uno elaborado con escorias basálticas, la cual es un material más ligero. La presencia del acero de refuerzo; cuando se hace incidir el aparato en la cercanía del acero, - los resultados son fuera del orden y por tanto, no deberán considerarse. El grado de aspereza de la superficie, la inercia y/o volumen de los elementos estructurales, etc.

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. Inclusive en muchos casos no se requerirá extraer la varilla, ya que el concreto habrá resistido una tensión tal que pueda considerarse satisfactoria. 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 descimbrar.

Pruebas de Penetración.- Estas pruebas consisten, no como en el caso de la prueba anterior en remover el material, sino en comprimirlo. 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. En nuestro país se emplea la sonda o pistola de Windsor, desarrollada en 1964 por la Port of New York Authority y la Windsor Machinery Company de Connecticut. Este equipo utiliza una carga explosiva para propulsar la sonda y hacer que ésta penetre en el concreto, correlacionándose el valor de penetración con la resistencia a la compresión del concreto. Estas pruebas como en el caso de las de rebote, no es posible que proporcionen directamente un valor absoluto y real de la resistencia del concreto, sin embargo, son un medio excelente que permite determinar resistencias relativas en diferentes elementos estructurales.

### 3.3.2 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

Se denomina pruebas no destructivas a aquellos procedimientos que por su aplicación no -

se afecta la integridad y/o propiedades del concreto. Estos procedimientos a los que también suele llamarse " Pruebas Dinámicas " se basan en las propiedades vibratorias del concreto para, a partir de ellas, estimar la calidad del mismo.

Mediante el estudio de la propagación de vibraciones a través de un material, es posible determinar su módulo de elasticidad dinámico, el cual a su vez puede relacionarse con otras propiedades del mismo.

Existen dos conceptos básicos a partir de los cuales puede obtenerse el módulo de elasticidad dinámico: La frecuencia de resonancia y la velocidad con que se propaga una onda vibratoria. El Método ASTM-C-215, establece el procedimiento para determinar los valores dinámicos en especímenes de concreto.

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.

Es importante anotar, que la confianza estadística al correlacionar la velocidad del pulso y la resistencia a la compresión en pruebas estándar, no es tan alta como se desearía. Esto se debe a que esta correlación se ve influenciada por variables tales como tipo y -

tamaño de los agregados, contenido de cemento, humedad y edad del concreto, temperatura de curado, etc. No obstante, al tomar estos factores en cuenta, pueden hacerse estimaciones razonables.

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. Esto es sumamente útil, ya que durante la fase de construcción se pueden emplear estos métodos para determinar la consolidación y el llenado de cimbras profundas y en consecuencia detectar problemas potenciales. 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 y 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.

Elvery y Din han demostrado que las mediciones de velocidad del pulso tienen mejores resultados en el cálculo de la resistencia a la flexión de vigas, que las pruebas de compresión en muestras de comparación.

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

Finalmente, y partiendo de la base de que el concreto de alta calidad tiene una velocidad de pulso marcadamente mayor que la del concreto de baja calidad, ésta puede por sí misma emplearse como un criterio de aceptación.

#### Métodos Radioactivos.

Este procedimiento se basa en la medición de la cantidad de radiación que absorbe el —

concreto al ser atravesado por un 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 la 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 0.6 y 0.9 m. Su empleo por esta causa se limita a detectar cavidades en elementos relativamente angostos, como puede ser las que se presentan al no rellenar correctamente los ductos de cables postensados.

La radiografía y la radiometría, como ya se dijo, son las dos técnicas que se utilizan principalmente. Se prefieren las radiaciones gamma en ambos casos, 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.

#### 4.- RECOMENDACIONES.

El control de calidad del concreto premezclado, debe ser llevado a cabo y 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 ( 2 ) .

Desajustes en el equipo de medición y mezclado de materiales durante la producción de concreto, potencialmente representan un riesgo sumamente alto. 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. Por otra parte, a menos que acuse alguna marcada deficiencia, su aspecto en estado fresco no nos dice mucho sobre posibles alteraciones en las cantidades de agregados y principalmente cemento y aditivos, las que de ser importantes harán inservible a este material con sus obvias consecuencias. ( 2.1. ).

Para que se acepten los equipos de medición, dosificación y mezclado, han de cumplir -- con una serie de requisitos en cuanto a funcionamiento, aproximación y diseño ( 2.1.1 - 2.1.2 - 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. Los resultados de los ensayos de probetas del concreto producido, servirán para -- verificar si se han hecho bien las cosas, además de proporcionar datos para correcciones que modifiquen tendencias diferentes a las propuestas. 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 ).

Existe erróneamente la idea generalizada, de que el cemento es de los materiales constitutivos del concreto, el que menos varía, y en consecuencia en pequeña proporción es - la causa de las variaciones en la resistencia a la compresión del concreto ( 2.2.1 ).

Por la decisiva influencia de las características del cemento en las características del concreto, se requiere implementar un sistema de pruebas que defina el comportamiento de este material de ser posible antes de emplearlo a nivel industrial. Es conveniente para detectar tendencias, auxiliarse con cartas de control basadas en la experiencia, ya que el nivel de calidad actual del cemento Portland es muy superior al marcado en especificaciones ( 2.2.1.1, .2 .3 ).

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 una vez conocidos con detalle los agregados a usar, decidir que pruebas físicas habrá de practicárseles periódicamente, con que detalle y en que lugar. No se debe olvidar que la idea de las mismas, es la de tener datos oportunos que permitan durante la producción hacer las correcciones requeridas para lograr la calidad deseada, además de utilizarlos y procesarlos en las cartas de control, las que nos mostrarán rápidamente - cualquier variación o tendencia en alguno de sus índices ( 2.2.2.1 ).

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 ( 2.2.3 ).

En el caso del cemento, se tienen dos alternativas para recibirlo, a granel o en sacos de 50 kgs. 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 un proceso de acondicionamiento 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 teniendo trituration o molienda lavado, 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 de laboratorio, e impedir su contaminación una vez almacenada. Aunado a lo anterior, es fundamental para conocer el comportamiento del agua por utilizar, fabricar con éstas mezclas de concreto y analizar el comportamiento de éste, en cuanto a fraguado y resistencia a la compresión, comparativamente con mezclas de concreto en las que se haya utilizado agua destilada. Se da una guía para su selección ( 2.2.3.3 ).

Para los aditivos deben extremarse las precauciones de almacenamiento, transporte, descarga, identificación mantenimiento en condiciones óptimas 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. Es necesario enfatizar que de acuerdo a su función, las proporciones en que se usan los diferentes 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 resistencia mecánica es el medio más frecuente para estimar la calidad del concreto. Es la prueba más sencilla, rápida y de resultados más reproducibles, entre las que pueden efectuarse al concreto endurecido. Existen experiencias que correlacionan este índice con otras características del concreto ( 3 ).

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 una 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 se ejemplifica en el inciso ( 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. En el inciso ( 3.1.2 ), se propone un diseño de cartas de control para medias

y rangos, que permite agrupar todos los valores de resistencia obtenidos sin recurrir al expediente de expresarlos en porcentaje, respetando en todo momento la geometría de sus distribuciones de frecuencias. Esta opción permite anotar en un solo pliego, todos los datos que se van obteniendo de las diferentes clases del concreto producido, por lo que redunda en un notable ahorro de tiempo y trabajo.

En una empresa productora de concreto que elabora una gran variedad de mezclas de diferentes características ( resistencia, 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 de los demás conjuntos de diferentes características.

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

Siguiendo este procedimiento se evita tener que expresar los resultados de resistencia en porcentaje, cuando se desea obtener un solo parámetro que nos defina la dispersión. Asimismo, se conoce el nivel de calidad del concreto producido y no solamente el de la distribución muestral, en la cual los volúmenes muestreados no siempre son proporcionales a

los producidos.

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, con 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 tan grandes como - 100 a 300 metros cúbicos por hora-. Al extremo de que existen grandes estructuras que se terminan sin haber ensayado un solo cilindro de concreto convencional, curado con el estándar de 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 1 o 2 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 proce

dimientos que no afectan la integridad y/o propiedades del concreto. Se tienen los métodos dinámicos de frecuencia resonante, velocidad mecánica del pulso sónico, y velocidad del pulso ultrasónico, además de métodos radioactivos. ( 3.3.2 )

## Bibliografía

- Neville, A. M. Tecnología del Concreto ( Tomo I y II )  
I.M.C.Y C. 1977
- Secretaría de Recursos Hidráulicos, MANUAL DE CONCRETO  
S.R.H. 1970
- García Bernardini J., SUPERVISION DE OBRAS DE CONCRETO  
I.M.C.Y C. 1976
- L. Grant Eugene, Control de Calidad Estadístico, C.E.C.S.A.  
1972
- Bureau of Reclamation, CONCRETE MANUAL, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation.- Sixth Edition
- A.C.I., Prácticas recomendables para dosificar concretos de peso normal ( A.C.I. 211.1 - 70 ) nueva serie/I.M.C.Y C./2
- A.C.I., Control de calidad del concreto ( A.C.I. - 704 )  
nueva serie/I.M.C.Y C./8
- A.C.I., PRACTICA RECOMENDADA PARA LA EVALUACION DE RESULTADOS DE ENSAYES DE COMPRESION DE CONCRETO EN EL CAMPO ( A.C.I. 214-65) I.M.C.Y C. 1968
- U.N.A.M., DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO, Instituto de Ingeniería, Julio 1977-401
- A.C.I. Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ( A.C.I. 318-71 ), I.M.C.Y C. 1972
- A.S.T.M. Concrete and Mineral Aggregates; Manual of Concrete Testing, 1974 ANNUAL BOOK OF A.S.T.M. STANDARDS
- A.S.T.M. Cement; Lime; Ceilings and Walls; Manual of Cement Testing, 1975 ANNUAL BOOK OF A.S.T.M. STANDARDS
- I.M.C.Y C. Memorias Curso " Química y Física del Cemento "  
I.M.C.Y C. Agosto 77
- Martínez Eguiluz D. Ensayes acelerados de resistencia a compresión del concreto. Tesis profesional U.N.A.M. 1974
- American Society of Civil Engineers,- Journal of the Construction

Division Proceedings, Vol. 102 No. C02, Junio 76 New York - -  
E.E. U.U.

D.G.N. Normas Oficiales Mexicanas Para Cemento y Concreto -  
Premezclado. D.G.N.