



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

“ CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO  
PREMEZCLADO ”

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL  
p r e s e n t a

ALEJANDRA RODRIGUEZ GARDUÑO



Director de Tesis  
Ing. Oscar E. Martínez Jurado

México, D. F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# **CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO PREMEZCLADO**

- I.- INTRODUCCION**
- II.- GENERALIDADES**
  - Reseña Historica.
  - El Concreto Premezclado.
- III.- MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO**
  - El Cemento.
  - Los Agregados.
  - El Agua.
  - Los Aditivos.
- IV.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO**
  - Pruebas para determinar la Trabajabilidad.
  - Factores que afectan la Trabajabilidad.
- V.- PRODUCCION**
  - Certificación, Verificación y Mantenimiento de Equipo.
  - Control de los Materiales.
  - Manejo de los Materiales.
- VI.- VERIFICACION DE LA CALIDAD**
  - Verificación por medio de cilindros estándar de concreto.
  - Análisis Estadístico.
  - Cartas de control.
  - Verificación de la Calidad del Concreto en la Estructura.
- VII.- EVALUACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPORTES**
  - Diferentes reportes que se emiten.
  - Comparación de dos diferentes formas de interpretación de los resultados.
- VIII.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**
  - BIBLIOGRAFIA.**

# **I.- INTRODUCCION**

## I.- INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo el proporcionar información práctica a toda persona que tenga relación con el Concreto Premezclado, (Superintendente de planta, constructores, residentes de obra, supervisores, etc).

El repunte en la actividad constructora esperado para los próximos años, acorde con las proyecciones de crecimiento de la economía mexicana, registrará mayor crecimiento en dos sectores principalmente:

El primero de ellos, el de la construcción de unidades habitacionales, el cual mantiene una demanda constante de concreto premezclado, debido a que en México las casas se construyen básicamente con productos de concreto, a diferencia de otros países en los que la madera tiene un papel muy importante en la construcción de vivienda. Por lo tanto la madera y los productos de arcilla como el ladrillo se ven desplazados cada vez más por el concreto. El déficit de habitación existente en el país, estimado en más de 6 millones de unidades, se incrementa continuamente por el crecimiento de la población, por lo tanto la necesidad de vivienda día a día va en aumento, y junto a esta necesidad el de la producción de más y más concreto.

El segundo sector que fomentará la demanda de concreto es el de la construcción de infraestructura. México se integra aceleradamente a la economía mundial desarrollando un ambicioso programa de globalización para el que necesariamente requiere de infraestructura acorde con este programa. Esto implica mantenimiento y reposición de la infraestructura existente, además de la construcción de nuevas instalaciones que permitan al país recuperar aceleradamente lo que dejamos de hacer en este renglón durante los años de crisis.

Los obstáculos que sigue enfrentando la industria del concreto premezclado para llegar al consumidor siguen siendo notorios y esto se debe a razones de diferente naturaleza como lo son, que dicha industria sigue siendo en muchos aspectos una industria de volúmenes.

Por lo que se pretende dar un enfoque particular al control de calidad del concreto premezclado, ya que se deben tener en cuenta las características tan especiales de este producto, el cual por su cualidad de fraguado en función del tiempo, resulta imposible almacenarlo y, por lo tanto, se usa al mismo ritmo al que se produce.

Por lo que se considero tratar todo el proceso de producción del concreto y se decidió dividir el presente trabajo en siete capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación:

En el capítulo II se da un panorama general de la historia del cemento, para continuar con la historia y crecimiento de la industria del concreto, desde sus orígenes hasta la actualidad.

El capítulo III contiene la descripción de cada uno de los materiales componentes del concreto, las pruebas más comunes que se le realizan a cada uno de ellos, así como también las características que deben cumplir para poder ser utilizados en la elaboración de concreto.

Capítulo IV en el se tratan temas tan importantes como lo son las características del concreto en estado fresco, la prueba del revenimiento la cual es muy utilizada en campo, para la aceptación o rechazo del concreto premezclado.

El capítulo V nos describe que tan importante es el control de la calidad durante la producción, enfatizando en puntos tan importantes como: el manejo de los materiales, la certificación, verificación y el mantenimiento de equipo.

En el capítulo VI se describen las pruebas más comunes para verificar la calidad del concreto. Se propone un modelo matemático para la creación de cartas de control, las cuales son muy utilizadas en una empresa premezcladora con mucho éxito, para controlar la calidad de su producto. Se describen las pruebas que se le realizan al concreto endurecido ya colocado en la estructura.

Capítulo VII se desarrolla una comparación de los diferentes reportes que emiten dos empresas, comparando sus parámetros de calidad y formas de interpretación de resultados.

Por último en el capítulo VIII se presenta una serie de comentarios y conclusiones, basados en problemas y experiencias reales de una empresa premezcladora.

## **II.- GENERALIDADES**

## II.- GENERALIDADES

Desde hace más de veinte siglos, los Otomies, los Toltecas y los Mayas en nuestro país, y los Griegos, los Egipcios y los Romanos en Europa, emplearon morteros hidráulicos con gran éxito en sus construcciones como puede apreciarse hoy en día, en los restos de sus obras que han perdurado.

Ya sea que los conocimientos de los antiguos sobre esta materia fuesen meramente de carácter empírico o que se perdiesen al paso del tiempo, lo cierto es que hasta principios del siglo XIX, no se conoció nada del mecanismo del fraguado de dichos morteros.

A continuación se describe brevemente la historia del cemento y del concreto premezclado.

### II.1. - RESEÑA HISTORICA

El empleo de materiales cementantes es muy antiguo, los Egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro, los Griegos y Romanos utilizaban caliza calcinada y, posteriormente, aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo. Este fué el primer concreto de la historia.

Para referirnos a la evolución del concreto, tenemos que hablar básicamente del material que hace posible su fabricación, es decir, tenemos que ver como evolucionó el cemento, el cual se puede definir como la substancia adhesiva capaz de agregar fragmentos o masas de materiales sólidos, que se emplean para efectuar la aglomeración de piedras y otros. "La Historia del Concreto va de la mano con la Historia del Cemento".

Por lo que se refiere a su desarrollo, se ha podido constatar que para que se iniciara el uso del cemento en la construcción, se ha requerido primeramente de un grado de civilización bastante avanzado, ya que se ha observado en las estructuras prehistóricas megalíticas y ciclópeas de Grecia, que fueron construidas solo con tierra a base de tapias con sucesivas capas de barro bien apisonadas o con muros de piedra sin adición de aglomerante alguno.

Es también en algunos edificios egipcios en donde se ha encontrado ya el actual sistema de trabajo con aglomerante en edificios entre los bloques y losas de piedra, con la salvedad de que el yeso utilizado se cocía muy imperfectamente por lo que se obtenía una mezcla mineral sin cocer con yeso muerto, de tal manera que un mortero así tenía que endurecer de manera muy irregular y con ello dificultar la buena marcha de su aplicación.

Es bien cierto el hecho de que, tanto los Griegos como los Romanos, se dieran cuenta de que ciertas materias volcánicas al ser molidas finamente y mezcladas con cal y arena, proporcionaban un mortero, no sólo de elevada resistencia sino, capaz de resistir la acción del agua.



Después de la época romana empezó a disminuirse la calidad de los morteros y tal decadencia continuó durante la edad media, sin embargo, a partir del siglo XII la calidad va mejorando, observándose que la cal está bien cocida y tamizada, tan es así, que a fines del siglo XIV se encuentran morteros excelentes, encontrándose que se tenía ya la precaución de lavar la arena para quitar la suciedad o la tierra que podían impedir la adherencia del aglomerante.

Pasando ya a épocas recientes, el progreso más importante sobre el desarrollo del cemento es indudablemente la investigación llevada a cabo por John Smeaton, que al ser llamado en 1756 para construir un nuevo faro en las rocas de Eddyston, sustituyendo al que había sido destruido por un incendio, se dedicó primeramente a efectuar investigaciones acerca de cuales eran los mejores materiales de construcción que resistieran condiciones tan duras, descubriendo así, por primera vez, las magníficas propiedades de la cal hidráulica.

Aproximadamente en 1818, el francés Louis Joseph Vicat realizó investigaciones sobre calces hidráulicas que concluyeron en la preparación de una cal hidráulica artificial, calcinando una mezcla de caliza y arcilla que las molía juntas en un molino de vía húmeda. Este proceso puede ser considerado como el principal precursor de la fabricación del Cemento Portland, sin embargo, es hasta 1824 en Inglaterra, cuando Joseph Aspdin presenta su primera patente de fabricación, en la cual se menciona una caliza dura como la que se emplea en ese entonces en la reparación de carreteras, la cual era machacada y calcinada para después mezclarla con arcilla, moliéndose con agua hasta quedar reducida a una pasta fina.

El principal inconveniente de este proceso era que se empleaba una temperatura muy baja en la etapa de cocimiento, por lo que el producto resultaba de baja calidad. Se le dió a este producto el nombre de Cemento Portland, debido a un cierto parecido, en su color, al de la piedra de la isla Portland.

En el transcurso de los últimos años, los perfeccionamientos introducidos en los hornos y los dispositivos mecánicos y electrónicos de la Industria del Cemento, así como el conocimiento más completo de los límites de composición, han dado lugar a que se fabriquen cementos superiores al Portland de hace treinta años, que la comparación de éste es del mismo orden que la comparación del Cemento Portland con los cementos primitivos naturales.

Citemos ahora la evolución del concreto, el cual se viene aplicando también, desde hace mucho tiempo; la mayor parte de estos concretos se hacían con cascote de ladrillo, cal y puzolanas, a excepción de las grandes obras en las cuales se solían reemplazar los trozos de ladrillo por tobas volcánicas.

Es notorio el uso de concreto también en los muros de edificios de la edad media, aunque de manera menos sistemática y con un menor conocimiento del material que en los tiempos de los romanos.

Se dió gran impulso al uso del concreto cuando se difundió, como ya lo señalamos, el empleo del Cemento Portland, ya que éste ha sido la base, en la mayoría de las veces, de la elaboración de dicho producto, y solo en casos excepcionales el concreto se ha fabricado con cal hidráulica.

En México, la revolución da surgimiento a una nueva concepción de país y por lo tanto a una nueva era en la construcción con el nuevo material, que hizo su aparición en México en 1901 y que ha dado solidez a sus creaciones, el cemento portland, un polvo mágico capaz de reaccionar con el agua y junto con agregados transformarse en uno de los materiales más nobles de hoy en día.

Cuando nació el siglo XX, en México no se fabricaba cemento en cantidad alguna. En 1900 sólo había tres fábricas que utilizaban el cemento como materia prima. Estas fábricas eran de mosaico. Fuera del empleo que tenía en esas tres fábricas, el cemento solo servía para tapar goteras en los techos de tabla y tierra o de bóveda catalana, todavía veinte años después en 1920, las casas en México se construían sin cemento, si algún cemento había en ellas era únicamente el que había servido para manufacturar los mosaicos colocados en los pisos del baño, la cocina y el pasillo.

De 1900 a la fecha, el progreso de la industria del cemento ha sido asombroso. Se inició esta industria con dos intentos fallidos, uno en Santiago Tlaltelolco y otro en Dublán, Hgo. Equipadas estas fábricas precursoras de cemento con anticuados hornos verticales, pronto hubieron de clausurarse, vencidas sin duda por la competencia de cemento importado, así como por el bajo consumo que de este material hacía México en aquel entonces, cuando nuestras pequeñas necesidades se abastecían con importaciones de Inglaterra y de Bélgica, principalmente.

El progreso de la industria del cemento en México se debe atribuir fundamentalmente al gran espíritu de empresa de todos los hombres que se han consagrado a ella; a la competencia que siempre ha reinado entre los diferentes componentes de esta industria; finalmente, al dinamismo de los ingenieros y arquitectos mexicanos, por una parte, y por otra, al de los hombres dedicados a las industrias que utilizan el cemento como materia prima.

Este progreso se inicia en México con la fundación de las primeras tres fábricas montadas con hornos rotatorios.

De estas fábricas, la primera fue la de Cementos Hidalgo, S. A., en Hidalgo, Nuevo León, fundada el 3 de febrero de 1906, cuyo principal promotor fue el señor Juan F. Brittingham, americano radicado en la ciudad de Gómez Palacio, Durango, hombre de gran visión e iniciativa. La Tolteca, en el Estado de Hidalgo, fue la segunda, montada originalmente por un grupo de cementeros americanos encabezados por el señor William E. Burk, quienes en 1911, y con motivo de la revolución, vendieron sus acciones a un grupo de cementeros ingleses representados por el señor Douglas H. Gibbs, quien hasta entonces había estado a cargo de fomentar las importaciones en México de cementeros productores de la Gran Breaña, y por último La Cruz Azul, también en el Estado de

Hidalgo, establecida en Jasso por los señores Enrique Gibbons y Jorge Watson, dedicados a la manufactura de cal grasa, y que empezó a operar en 1910.

Coincide la fundación de estas fábricas de cemento con la introducción del concreto en obras de importancia como las de aprovisionamiento de agua en el Distrito Federal, parte de ellas el Acueducto de Xochimilco, los Tanques de Dolores y el Edificio de Bombas de la Condesa y el monumento a la Independencia en el Paseo de la Reforma de esta Ciudad.

Toca a estas empresas sufrir el periodo de la Revolución Mexicana y los años que le siguen, a pesar de lo cual sobreviven. Con la guerra civil que provocó el asesinato del Presidente Madero, la demanda se vino abajo. Cuando renuncia el Presidente Díaz, en 1911, la demanda de cemento se había elevado a 75,000 toneladas por año, impulsada por la actividad de nuestros ingenieros.

Cementos Hidalgo hubo de suspender sus trabajos por diez años consecutivos. Las pérdidas de La Cruz Azul se acumulan y pasa la empresa a manos del Banco Nacional de México, que en muchos años pierde dinero. La Tolteca hubiera quebrado si sus nuevos dueños no la refaccionan constantemente durante aquella época. Para dar una idea de la catástrofe, basta decir que, en 1915 La Tolteca vendió escasamente 4,000 toneladas.

Para ponerse a cubierto, en lo posible, de tener que paralizar sus hornos por falta de una demanda continua, La Tolteca inició desde 1919 una campaña de publicidad para dar a conocer las múltiples aplicaciones del concreto, así como la mejor manera de elaborarlo y colocarlo.

En 1923 cinco empresas cementeras existentes en México decidieron aportar los recursos para la creación de un comité que promoviera una mayor aplicación y mejor aprovechamiento del cemento. Este comité unió a las empresas y realizó una fructífera y fecunda labor. Dicho comité preparó el terreno para que con los años se constituyera la Cámara Nacional del Cemento.

En 1931, sufriendo todavía los estragos de la depresión económica mundial, al fusionarse Cementos Portland de Hidalgo (Nuevo León) con Cementos Portland de Monterrey nace la empresa denominada "Cementos Mexicanos S. A." En ese año la planta de Monterrey contaba solamente con 2 pequeños hornos que en conjunto producían 300 toneladas diarias.

En 1942 se creó la Comisión Reguladora del Cemento, que funcionó hasta 1944, y su desaparición dió origen a la Oficina de la Industria del Cemento, más tarde, en 1948 se funda la Cámara Nacional del Cemento.

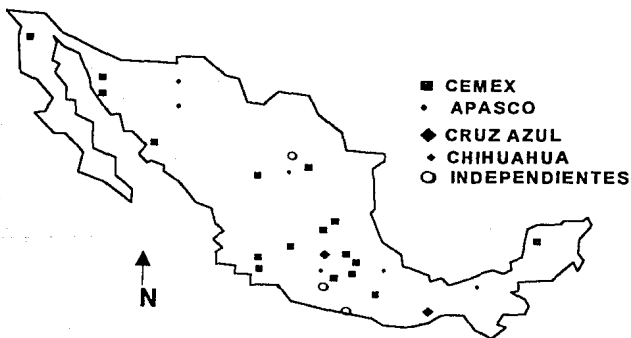
Entre 1924 y 1968 se ampliaron las cinco antiguas fábricas y se establecieron 21 nuevas, estratégicamente repartidas, a impulso de la competencia en todo el país.

Los arquitectos en México entran a representar un papel creador en el escenario del concreto en 1925. Si los ingenieros han sobresalido en el aspecto tecnológico, así en la

escuela y en el laboratorio como en los procesos de construcción, los arquitectos en su esfera de acción no se han quedado a la zaga, dominados por la misma inquietud que los ingenieros: colaboran con la adopción de los procesos de construcción más eficientes, aprovechando el bajo costo del cemento en México y poniendo especial empeño y entusiasmo en la concepción de obras a base de concreto.

Sea como fuere, aquí tenemos una Industria de la que México, que hasta hace poco no era industrial, se puede enorgullecer. Una Industria que capeando mil temporales a lo largo de más de 60 años, ofrece a México una gran diversidad de cementos de buena calidad, a uno de los precios más bajos del mundo.

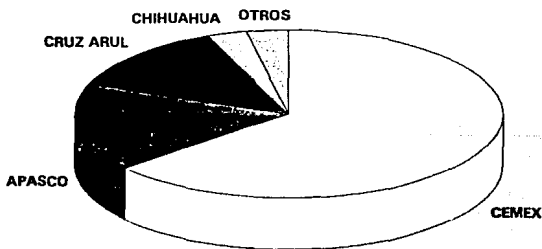
Para 1991 ya existían 31 plantas cementeras localizadas en todo el territorio nacional, sin embargo las demandas del país van en aumento, por lo que para fines de 1993 se contará con 32 plantas productoras de cemento, las cuales se agrupan en cinco grandes grupos:



La tecnología moderna hace que una fábrica de cemento pueda ser tan limpia como un laboratorio farmacéutico, por lo que se puede decir que la cuestión de la contaminación es ya un asunto del pasado. Ya que la Industria del Cemento se ha preocupado siempre por instalar modernos y eficientes equipos para la preservación del ambiente en todas sus instalaciones industriales en beneficio de las comunidades que los rodean. De esta manera cumple ampliamente con los reglamentos sobre protección ambiental, que en México se encuentran a un nivel similar al de los países altamente industrializados. Del nuevo programa de inversiones se destinarán 100 millones de dólares para la adquisición e instalación de estos equipos, con el fin de continuar trabajando en armonía con la naturaleza. Estos 100 millones de dólares son adicionales a los 250 millones de dólares invertidos hasta la fecha por el grupo con este objetivo, acumulando un total de 350 millones de dólares.

La exportación del cemento se ha constituido en la alternativa para hacer frente a un mercado interno poco estable y poder hacer un uso mayor de la capacidad instalada. En 1992 la industria mexicana de cemento produjo 25.1 millones de toneladas de cemento gris, 5.4 % más que en 1991. De esta producción el mercado nacional consumió 23.3 millones de toneladas, que representan el 93 % del total producido. Por lo que se exportaron 1.8 millones de toneladas.

## PARTICIPACION EN LA INDUSTRIA MEXICANA DEL CEMENTO



## II.2.- EL CONCRETO PREMEZCLADO

La Norma Oficial Mexicana NOM-C-155 establece la siguiente definición:

Concreto Premezclado es el concreto hidráulico, dosificado y mezclado por el fabricante, el cual se entrega al comprador para su utilización en estado plástico.

Hace cincuenta años se fundó la primera compañía de concreto premezclado en México. Entonces solo algunos visionarios alcanzaron a comprender que aquella rudimentaria planta y sus dos camiones revolventora, darian origen a una de las más avanzadas y progresistas industrias de este siglo.

La industria cementera ha puesto siempre mucho interés en la de los productos de concreto, no ha escatimado jamás esfuerzo alguno para asegurarse e incrementar lo más posible esta forma de utilización del cemento.

La necesidad de producir concreto a nivel industrial resultaba imperiosa en 1930, y tomó fuerza por sí misma a partir de 1940, en diversos campos de la ingeniería mexicana, produciendo concreto premezclado, con el respaldo de la garantía de calidad "listo para usarse", no obstante, fué hasta 1950 cuando empezaron a surgir algunas empresas dedicadas a la elaboración del "concreto premezclado".

Sin embargo, el transporte del concreto fue el punto que indicó en buena medida su capacidad. Fue hasta 1951 cuando la industria del concreto premezclado, como industria de servicio para la construcción comenzó a operar, logrando de inmediato un desarrollo extraordinario propiciado por el auge acelerado en la industria de la construcción de esa época.

Actualmente existen empresas establecidas en todos los estados del país, que cuentan con más de 200 plantas operando, las que permiten que el concreto premezclado ofrezca todas las ventajas que exige la construcción moderna: responsabilidad, garantía del diseño de la mezcla, capacidad para suministrar cualquier volumen requerido y mayor velocidad en su manejo y colocación. Pero la relevancia del aspecto servicio se logró en la década de los 60', cuando aparecieron en el mercado, de una manera formal, las bombas de concreto a base de sistemas hidráulicos, servicio adicional que permitió un manejo más racional del producto dentro de la obra.

El concreto bombeado, rompimiento de los patrones tradicionales en el reparto del concreto, nace en México en el año de 1969, como un servicio que por sus características, permite la reducción en los tiempos de movimiento y colocación del concreto premezclado, propiciando cada vez más su utilización en las principales ciudades del país.

En la actualidad, la Industria del Concreto Premezclado ha sabido capitalizar toda la experiencia de cinco décadas y convertirlas en tecnología altamente sofisticada al servicio del país.

En los modernos laboratorios de control y análisis de calidad con complejos sistemas, equipos e instrumentos de medición, técnicas de muestreo, estadísticas, estudios especiales e investigación de nuevas formulaciones y materiales, se contribuye día a día a conseguir mayores beneficios en calidad, uniformidad y economía para los cada vez más numerosos consumidores de concreto premezclado.

La creciente demanda nacional de este producto ha dado origen a la investigación y desarrollo de maquinaria y equipos con capacidades de producción y transporte cada vez mayores, más precisos, versátiles y eficientes. Con lo que se logra también un intercambio de experiencias a nivel mundial a través de asociaciones, visitas, congresos, etc.

Las 47 empresas que conforman actualmente esta pujante industria nacional, con más de 135 plantas establecidas en 24 entidades federativas y dos mil unidades para transporte de concreto premezclado; las cuales producen actualmente más de 6 millones de metros cúbicos de concreto al año. Se anexa la gráfica de producción de concreto premezclado en nuestro país, la cual contiene información desde 1981 hasta 1992.

Con esta producción, dicha industria contribuye en el crecimiento de México, en obras tales como: viviendas, presas, puertos, aeropuertos, hospitales, escuelas, puentes y en diversas obras de infraestructura rural y urbana.

El sano desarrollo de esta industria requirió también de instituciones que normaran criterios e investigaran nuevas posibilidades, contribuyendo a difundir todos los aspectos relacionados con el producto, ello propició la creación de un comité de concreto premezclado, que posteriormente dió origen en 1958 a la primera Asociación de Concreto Premezclado, ANPCPAC, con el objetivo primordial de crear un laboratorio que controlara y verificara en forma permanente la calidad del concreto producido por las empresas establecidas, así como de mejorar la calidad de los concretos existentes, estableciendo normas de producción saludables para la industria. Al cabo de los años la ANPCPAC dió paso en 1977 a la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado, AMIC, con programas de trabajo enfocados a ofrecer más servicios al consumidor y al premezclador.

En la actualidad la industria del concreto premezclado cumple las nuevas reglamentaciones sobre producción y control de concreto, derivadas de los sismos de septiembre de 1985, y produce concretos con la mayor calidad y uniformidad, dentro del mejor rango de resistencia promedio.

Con el crecimiento de esta industria prospera también la de servicios, como el bombeo de concreto y laboratorios de pruebas de calidad del concreto. Dando origen al Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas (SINALP), el cual se establece por decreto presidencial el 21 de abril de 1980, con el objetivo de reconocer oficialmente a aquellos laboratorios que efectúan pruebas específicas.

Uno de los aspectos más importantes de esta industria, es el empeño que ha puesto en la generación de fuentes de trabajo estables, la capacitación de sus técnicos y obreros.

Además, caben mencionar las ventajas que se tienen en el medio de la construcción, gracias a la existencia de esta industria, como son:

La disposición de grandes volúmenes de concreto.

La existencia de laboratorios de control que garantizan la calidad del producto.

Apegamiento a un cuerpo normativo, que estandariza los procedimientos y equipo de pruebas de materiales componentes, así como del producto mismo.

Uniformidad en la producción.

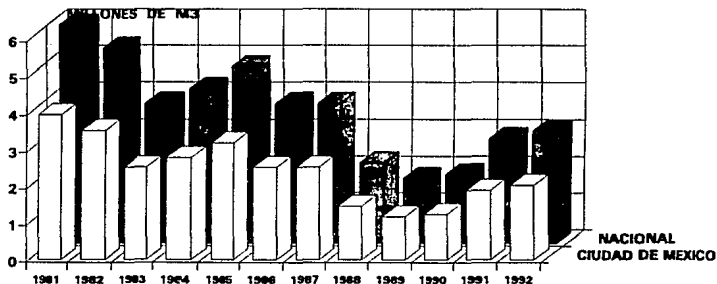
El beneficio económico que les proporciona a los constructores.

Colocación del concreto en una forma rápida y efectiva.

Elaboración de estudios e investigación.

## CONCRETO PREMEZCLADO

### PRODUCCION ANUAL





# **III.- MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO FRESCO**

### **III.-MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO**

"El concreto es la mezcla homogénea de cemento hidráulico, agregado fino y grueso, agua y aditivo, el cual en su primera etapa (algunas horas) se encuentra en estado plástico no endurecido y por lo tanto manejable y moldeable, y en la segunda etapa se endurece y forma una masa sólida que alcanza su máxima resistencia mecánica a los 28 o 14 días, según el tipo de concreto".

Son cinco los elementos necesarios para producir concreto:

- CEMENTO
- AGREGADO FINO (ARENA)
- AGREGADO GRUESO (GRAVA)
- AGUA
- ADITIVOS

Hay quienes cuentan al aire como un elemento más, por considerar que el contenido del mismo en mayor o menor porcentaje, influye en las características del producto en sus etapas:

En la primera etapa, a mayor contenido de aire incluido, es mayor la trabajabilidad.

En la segunda etapa, a mayor contenido de aire incluido, será mayor la protección contra agrietamiento en zonas de heladas, pero se deteriora la resistencia mecánica.

En ocasiones se habla de que se hace concreto con fibras sintéticas, fibras de vidrio, desechos sólidos industriales, como ciertos metales, etc. pero muchas veces estos elementos se tratan como aditivos o se habla de concretos especiales.

#### **III.1.- EL CEMENTO**

La A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) dá la siguiente definición de Cemento Portland Artificial, la cual es universalmente aceptada:

"Cemento Portland es el producto obtenido por molienda fina de clinker producido por calcinación hasta la temperatura de fusión incipiente, de una mezcla íntima, rigurosa y homogénea de materiales arcillosos y calcáreos, sin adición posterior a la calcinación excepto yeso calcinado o no y en cantidad no mayor que el 3%."

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 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, o tal vez porque los contenidos de cemento usados en la producción del concreto son tales que garantizan ampliamente la resistencia del mismo y en consecuencia 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.

El cemento está constituido por cuatro componentes principales, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Silicato Tricálcico ( $3\text{CaOSiO}_2$ )	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato Dicálcico ( $2\text{CaOSiO}_2$ )	$\text{C}_2\text{S}$
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 las que se hace referencia, son en un mismo tipo de cemento.

La función de cada uno de los componentes mencionados se puede resumir como sigue:

- $\text{C}_3\text{S}$  Silicato Tricálcico.- De éste elemento dependen las resistencias que se obtengan hasta los 28 días aproximadamente.
- $\text{C}_2\text{S}$  Silicato Dicálcico.- De éste dependerán las resistencias que se obtengan a partir de los 28 días.
- $\text{C}_3\text{A}$  Aluminato Tricálcico.- Es el elemento que más calor genera en el cemento. De éste dependen las variaciones del volumen del concreto y la formación de grietas. Este elemento es el más vulnerable al ataque de los sulfatos.
- $\text{C}_4\text{AF}$  FerroAluminato Tretácálcico.- Ayuda a acelerar la hidratación en el concreto.
- $\text{SO}_4\text{Ca}$  Yeso.- Regula la acción química entre el cemento y el agua, y controla el tiempo de fraguado.

Un ejemplo muy común se presenta cuando hay variaciones en el contenido de  $\text{C}_3\text{S}$ , 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. En el cemento tipo I, el porcentaje de  $\text{C}_3\text{S}$  es del orden de un 50 por ciento, en estas

condiciones las resistencias a compresión en cubos según la norma NOM-C-1 a 24 horas son del orden de  $100 \text{ kg/cm}^2$  y a 28 días de  $350 \text{ kg/cm}^2$ .

Se dan casos en que los contenidos de componentes varían hasta igualarse en un 35 por ciento, teniéndose a 24 horas, sin variar el tipo de ensayos, resistencias menores a  $50 \text{ kg/cm}^2$  y en algunos casos a 28 días superiores a  $400 \text{ kg/cm}^2$ .

Esto aparentemente pudiera no tener mayor importancia, ya que inclusive se está disponiendo 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 resistencias menores de  $50 \text{ kg/cm}^2$ .

En este momento no se puede saber si se recuperará a edades mayores, generalmente no se dispone de análisis químicos respectivo y se tiene por delante una producción del día del orden de  $2,000 \text{ m}^3$ . Cabe aclarar que este valor de baja resistencia a edades iniciales, se puede conservar en esta producción a edades mayores, en el caso de que la materia 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 empleen en la producción normal, debido a que se requeriría una capacidad 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 presente fisuras en el concreto, debido a diferentes contracciones en diferentes estados de endurecimiento, lo cual origina esfuerzos residuales en el concreto endurecido.

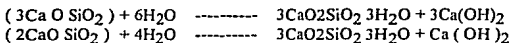
-Hay ocasiones en que el índice de resistencia de cemento en alguna marca en particular, durante un lapso determinado es superior a las otras. Si se mezcla este cemento con otros, es claro que esta ventaja no podrá capitalizarse ya que es prácticamente imposible establecer en que parte se ha colocado esta mezcla

La intención que se tiene al hablar sobre el control 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 implementarse, 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, deben realizarse sistemáticamente.

### III. 1.1.-PRUEBAS FISICAS.

**Resistencia a la Compresión.-** En el momento en que entran en combinación el cemento y el agua se inician 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 ( $Ca(OH)_2$ ) con forme a las siguientes reacciones:



El  $3CaO_2SiO_2 \cdot 3H_2O$  es una pasta coloidal que se conoce con el nombre de tabernorita y aunque no es el producto final de la hidratación, se separa en forma de gel, el cual interviene directamente en la adquisición de resistencia, conforme al 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 componentes 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.

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 NOM-C-1 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 NOM-C-61.

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 los resultados finales no corresponde al de los iniciales, debido a variaciones en las cantidades de los componentes potenciales.

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.

En lo que ha esta prueba se refiere, se considera 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 ensayes, 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 o 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 ofrece 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 periodo 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 absorción del porcentaje de cemento en peso, que se retiene en la malla No. 325 norma NOM-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, NOM-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 molienda 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 de "Blaine" ó de permeabilidad al aire. Este procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de aire a través de un lecho granular el cual ha sido compactado de acuerdo a ciertas condiciones, estableciéndose una relación entre el área de las partículas que constituyen el lecho, y el 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 que se estén empleando.

**Tiempo de Fraguado.-** El fraguado de la pasta de cemento es un proceso fisico-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 operación un tanto arbitrarios.

Al hidratarse inicialmente el C<sub>3</sub>A y el C<sub>3</sub>S, se inicia el fraguado.

El C<sub>3</sub>A 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 identificación 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 NOM-C-59 y el Gillmore, norma NOM-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 datos, 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 especifican 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 NOM-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°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 condiciones altas 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, en la premolienda y mezcla insuficiente de materias primas, calcinación inadecuada, etc.

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

### III.1.2.-PRUEBAS QUIMICAS.

La composición química se determina 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 un par de tablas; la tabla 1 se encuentra en el Manual del Concreto de la S. R. H. y muestra la influencia de los compuestos químicos en las propiedades del cemento Portland. La tabla 2 indica los requisitos químicos de los diferentes tipos de cemento Portland.

TABLA I

REQUISITOS QUIMICOS DEL CEMENTO PORTLAND

	T I P O S				
	I	II	III	IV	V
Oxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) mínimo en porcentaje	-	21	-	-	-
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) máximo, en porcentaje	-	6	-	-	-
Oxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) máximo, en porcentaje	-	6	-	6.5	-
Oxido de magnesio (MgO) máximo en porcentaje	4	4	4	4	4
Anhídrico sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	*	*	*	*	*
Pérdida por calcinación máximo, en porcentaje	3	3	3	3	3
Residuo insoluble máximo en porcentaje	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico (3CaOSiO <sub>2</sub> ) máximo, ** en porcentaje	-	-	-	35	-
Silicato dicálcico (2CaOSiO <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. (4CaO 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 porcentaje	-	-	-	-	20
Alcalis	****	****	****	****	****

**TABLA 2**

COMPUESTOS	RESISTENCIA MECANICA	CALOR DE HIDRATACION *	CAMBIOS VOLUMETRICOS	RESISTENCIA A LA CONGELACION	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	Poca influencia	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 periclasa MgO			Produce expansión en agua		Cuando es mayor de 5%, la reduce

\* Calorías a 28 días, como porcentaje del compuesto.

### III.2.- 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.

Anteriormente los agregados eran tratados solo como materiales para aumentar volumen y reducir el costo del concreto y se le asignaba a la pasta de cemento la responsabilidad del comportamiento del producto. Pero actualmente los agregados han adquirido la categoría de materiales de construcción, cuyas propiedades físicas y químicas normalmente influyen en el comportamiento del concreto desde su fabricación hasta el término de su vida útil.

#### CLASES DE AGREGADOS:

Los agregados para concreto consisten en partículas de roca cuyas dimensiones varían desde unas micras hasta el tamaño máximo permitido o especificado.

La primera clasificación de los agregados es de acuerdo a su tamaño:

Agregado Fino (arena) es la fracción compuesta por partículas que pasan a través de la malla No.4, que tiene una abertura libre de 476 mm.

Agregado Grueso (grava) es la fracción retenida en la malla No.4

Otra clasificación es la que se refiere al origen de la fragmentación de las partículas de roca; así, hay agregados naturales y manufacturados.

Finalmente, es común clasificar a los agregados de acuerdo con su forma de partículas; desde los naturales de formas muy redondas y superficies muy lisas, hasta los fragmentos manufacturados de formas muy angulosas, con aristas vivas y superficies ásperas.

Se considera que los agregados naturales son más ventajosos que los manufacturados por su obtención más fácil, procesamiento más sencillo, instalaciones menos costosas, producto más económico, menores riesgos de producir agregados de mala calidad y partículas con forma y superficies más convenientes, etc., aunque hay excepciones.

#### NATURALEZA DE LAS ROCAS:

Los agregados, ya sea naturales o manufacturados, proceden de rocas que, según su origen, se clasifican en 3 grupos principales:

a) Rocas Igneas: producidas por solidificación a partir de un estado de fusión, por lo general ofrecen muy diversas propiedades físicas (densidad,

dureza y resistencia), excepto las tobas y escorias volcánicas que son porosas y de escasa resistencia.

b) Rocas Sedimentarias: formadas por sedimentos transportados por agua, aire, hielo o gravedad, las hay de todos tipos en cuanto a sus características (densidad, dureza, etc.) predominan las areniscas y calizas que cuando son duras y densas, suministran buenos agregados. En cambio, las lutitas son vistas con desconfianza.

c) Rocas Metamórficas: proceden de rocas ígneas o sedimentarias modificadas por condiciones de presión y temperatura, entre estas también hay gran variedad de características. El cuarzo casi siempre es de buena calidad, pero las pizarras normalmente son de calidad dudosa.

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 mismos no tiene influencia en el comportamiento mecánico del concreto, ó que su forma y textura no influyen en su trabajabilidad, ó bien que su adecuada distribución granulométrica no está 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 varían y en función de ello, establecer un sistema de control.

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

### III.2.1- PRUEBAS FISICAS.

**Densidad.-** Bajo la denominación de densidad se identifica al peso específico aparente (P.E.A.), en condición de saturada y superficialmente seca.

Según ASTM E 12 la densidad se define como la masa de un volumen unitario del material, a una temperatura especificada, donde, si el material es un sólido, el volumen debe ser de la producción impermeable.

Los agregados para producir concreto tienen vacíos permeables e impermeables; cuando un agregado se satura, el agua ocupa prácticamente todos los vacíos que son permeables, como esta cantidad de agua, llamada de absorción, no participa en la reacción con el cemento, se considera parte del agregado.

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 (sss). 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, NOM-C-165.

No obstante el peso específico aparente de un agregado analizado como dato aislado, no proporciona un índice claro de su calidad. Sin embargo, un 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.

La siguiente tabla incluye valores de pesos específicos que son comunes en agregados que se utilizan en concretos para usos diversos.

CLASE DE ROCA	P.E.A.	APLICACION
Pómez Escoria volcánica	1.2 - 1.8 1.6 - 2.2	Concreto Ligero
Caliza Arenisca Cuarzo Granito Andesita Basalto	2.3 - 2.8 2.3 - 2.6 2.4 - 2.6 2.4 - 2.7 2.4 - 2.7 2.5 - 2.9	Concreto Normal
Limotita Barita Magnesita	3.0 - 3.8 4.0 - 4.5 4.5 - 5.0	Concreto Pesado

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 ton/m<sup>3</sup>. Sin embargo, cuando ésta desciende a menos de 2.35 ton/m<sup>3</sup>, 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 esflorescencias que en el caso de elementos arquitectónicos resulta altamente desfavorable.

Otro ejemplo que quizás pueda resultar interesante, es el que se presenta en el agregado grueso de "escoria volcánica", esta grava tiene una densidad muy variable, ya que puede oscilar desde  $1.6 \text{ ton/m}^3$  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 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, 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, variará 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 anterior, obliga a considerar este índice como uno de los importantes en los agregados y a establecer sistemas de control para el mismo.

En este aspecto, 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 varien las características del banco.

También sucede que cuando se tiene poca demanda, se dedican a hacer almacén de materiales 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 posible, si simplemente se le permite cargar en donde él 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, ya 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 de que estos lleguen a las plantas.

Abundando sobre el 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 de los materiales de los diferentes bancos y así escoger el óptimo.

En la actualidad, en el Distrito Federal se cuentan con tres zonas principales para abastecer 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 de ellas cambia durante la producción normal diaria, por medio del radio estos laboratorios se comunican con el jefe de la planta.

Otra ventaja más, es que esta misma gente se encargaría de distribuir 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 autorizan, entregan un vale firmado y foliado, es posible tener un mejor control de las compras y suministros de los mismo y evitar como se dijo anteriormente que los transportistas 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 autorizado 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 que se debe efectuar en el momento de la compra de los mismos y controles de otro tipo, como pueden ser las cartas de control, que nos servirán para conocer la variabilidad y calidad del material de las diferentes



minas, lo que permitirá tomar decisiones inmediatas como pueden ser, en el aspecto técnico, alguna modificación que optimice el proporcionamiento de las mezclas, ó bien, en el aspecto comercial, elementos para futuras negociaciones. Pero indudablemente, las correcciones durante la producción diaria, serian para los jefes de planta más sencillas con la ayuda que les brindarian los diferentes laboratoristas de las minas.

**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: la NOM-C-165

Cabe aclarar, que es importante señalar la diferencia entre agua de absorción y contenido de humedad en los agregados.

El agua de absorción corresponde a la que un agregado es capaz de absorber por inmersión durante 24 horas sin contar el agua superficial, o sea en la condición saturado y superficialmente seco (sss).

El contenido de humedad corresponde a la cantidad total de agua que contiene un agregado en un momento dado, puede ser menor o mayor que la absorción. En el primer caso se dice que el agregado está subsaturado y en el segundo, sobresaturado.

Si un agregado al emplearse está subsaturado, se supone que tiene capacidad para absorber agua del concreto y, si esta sobresaturado, que es capaz de ceder agua. Para estimación de los consumos en ambos casos, se considera que, antes que el concreto fragüe, los agregados absorben o ceden el agua faltante o excedente para quedar teóricamente en la condición sss, en que solo contienen su agua de absorción.

La absorción se calcula como:

$$\% \text{ ABS} = \frac{(P_{\text{sss}} - P_{\text{s}})}{P_{\text{s}}} \times 100$$

Donde:

P<sub>sss</sub>: Peso del material saturado y superficialmente seco.

P<sub>s</sub>: Peso del material totalmente seco.

**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, llevándola 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, 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.

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

No obstante, si en un momento dado se obtiene esta arena de un almacén, en la parte superficial probablemente este seca, y por el contrario en la zona inferior sobresaturada. Pues bien, volviendo al ejemplo, se ha considerado que la arena que se recibe en la planta tendrá un seis por ciento de humedad, esto es que su condición será de saturada y superficialmente seca. El contenido de este material por  $m^3$  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 dos 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 el arena ya cambio. Con esto se quiere decir, que si está adicionando 700 kilogramos de material, únicamente 658 serán de arena y los 42 restantes corresponden al agua de humedad.

Al cambiar la humedad a un dos por ciento, se estarán adicionando 686 kilogramos de arena, esto es, 28 kilogramos más y únicamente 14 litros de agua, por lo que nuestra mezcla adolecerá de un faltante de 28 litros de agua, lo cual reducirá su revenimiento prácticamente a cero. 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 varía 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.

De esta forma se puede tener un control efectivo sobre la producción.

Por supuesto que el auxiliarse con las cartas de control y gráficas mostrará 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 cuanto a las cartas de control para estos índices, únicamente vale la pena agregar que su forma y límites, deben encontrarse o diseñarse conforme a nuestras propias necesidades, más que ajustarse a modelos matemáticos como lo es el caso del cemento y del concreto. Ref. ASTM-C-70

**Granulometría.-** Por granulometría ó composición granulométrica de los agregados, se entiende la característica que resulta de la distribución de tamaños de las partículas que los constituyen. Está 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 las oquedades 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 granulometrias en la grava y la arena. Ref. NOM-C-77 y ASTM-C-136.

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

Denominación	Abertura en mm
No. 4	4.76 *
No. 8	2.38
No. 16	1.19
No. 30	0.595
No. 50	0.297
No. 100	0.149
Charola	0

\* Contaminación de Grava en Arena

Una vez conocidas las fracciones retenidas en las 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:

Módulo de finura	Clasificación
Menos de 2.0	Muy Fina
2.0 - 2.3	Fina
2.3 - 2.6	Medio Fina
2.6 - 2.9	Media
2.9 - 3.2	Medio 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 ASTM, como por el USBR. En el formato 1 se muestra esta gráfica, así como los datos más importantes que se deben conocer de una arena.

# GERENCIA TECNICA

FORMATO 1

## REPORTE INTERNO DE ANALISIS DE ARENA

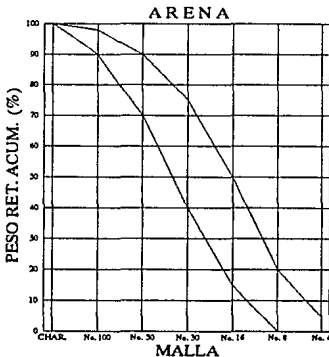
Fecha : \_\_\_\_\_  
 Análisis No : \_\_\_\_\_  
 Mina : \_\_\_\_\_  
 Localidad : \_\_\_\_\_

Tipo de arena : \_\_\_\_\_  
 Clasificación petrográfica : \_\_\_\_\_  
 Color : \_\_\_\_\_

Densidad	$\frac{P_{ss}}{\text{Volumen}}$	kg/m <sup>3</sup>
Absorción	$\frac{P_{ss} - P_s}{P_s} \times 100$	%
Hum. Tot.	$\frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$	%

P. V. S.	$P_s \times \text{Factor}$	kg/m <sup>3</sup>
P. V. C.	$P_c \times \text{Factor}$	kg/m <sup>3</sup>
P x L	$\frac{P_{s1} - P_{s2}}{P_{s1}} \times 100$	%

PROPIEDADES FISICAS	
DENSIDAD (MASA ESPECIFICA)	(kg/m <sup>3</sup> )
ABSORCION	(%)
HUMEDAD TOTAL	(%)
PESO VOL. SUELTO (P.V.S.)	(kg/m <sup>3</sup> )
PESO VOL. COMPACTADO (P.V.C.)	(kg/m <sup>3</sup> )
CONTRACCION LINEAL	(%)
CONTAMINACION DE GR. EN AR	(%)
PERDIDA POR LAVADO (P x L)	(%)
MODULO DE FINURA	



Malla	Peso Ref. (grs)	Peso Ref. (%)	Peso Ref. Acum. (%)	% Que Pasa La Malla
No. 4				
No. 8				
No. 16				
No. 30				
No. 50				
No. 100				
No. 200				
Charo				
Total				

METODOS DE PRUEBA: N° 100 - C - 30, C - 75, C - 77, C - 84, C - 111, C - 146, C - 196, G - 179

Observaciones

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

REALIZO : \_\_\_\_\_

SUPERVISO : \_\_\_\_\_

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

Malla	Abertura en mm
2"	50.8
1 1/2"	38.0
1"	25.4
3/4"	19.0
1/2"	12.7
3/8"	9.51
No.4	4.76
Charola	0 *

\* Contaminación de Grava

Para la grava también puede calcularse su módulo de finura que, en este caso, es igual a la suma de los porcentajes acumulados en cada una de las mallas desde la de mayor abertura (pudiendo ser cualquiera, según el tamaño máximo del agregado) hasta la malla No.4 dividida entre 100 y sumándole cinco unidades para diferenciarla del de la arena.

Lo mismo que para la arena conviene comparar los retenidos acumulados contra límites establecidos, sólo que en este caso se definirán los tipos de límites según el tamaño máximo del agregado (T.M.A.).

No obstante en la práctica es poco usado.

La tolerancia para los diferentes tamaños máximos de agregados se encuentra en la tabla 2 de la ASTM-C-33, los cuales se presentan a continuación para T.M.A. de 3/4", 1" y 1 1/2" en los formatos 2,3 y 4.

# GERENCIA TECNICA

FORMATO 2

## REPORTE INTERNO DE ANALISIS DE GRAVA

Fecha : \_\_\_\_\_

Tipo de grava : \_\_\_\_\_

Análisis No: \_\_\_\_\_

Clasificación petrográfica : \_\_\_\_\_

Mina : \_\_\_\_\_

Color : \_\_\_\_\_

Localidad : \_\_\_\_\_

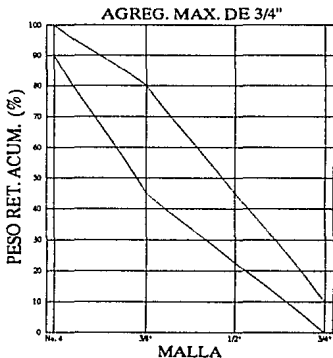
T. M. A. \_\_\_\_\_

Densidad	$\frac{P_{sa}}{Volumen}$	kg/m <sup>3</sup>
Absorción	$\frac{P_{sa} - P_s}{P_s} \times 100$	%
Hum. Tot.	$\frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$	%

P . V . S .	$\frac{P_s \times Factor}{P_c \times Factor}$	kg/m <sup>3</sup>
P . V . C .	$\frac{P_c \times Factor}{Pasa\ No.\ 4}$	kg/m <sup>3</sup>
CONTAM.	$\frac{(AR / GR) \times 100}{Peso\ Total}$	%

### PROPIEDADES FISICAS

DENSIDAD (MASA ESPECIFICA)	(kg/m <sup>3</sup> )	
ABSORCION	(%)	
HUMEDAD TOTAL	(%)	
PESO VOL. SUELTO (P.V.S.)	(kg/m <sup>3</sup> )	
PESO VOL. COMPACTADO (P.V.C.)	(kg/m <sup>3</sup> )	
COEFICIENTE DE FORMA		
CONTAMINACION DE AR. EN GR.	(%)	
MODULO DE FINURA		



Malla	Peso Ret. (grs)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Que Pasa La Malla
3/4"				
1/2"				
3/8"				
No. 4				
Charola				
Total				

MÉTODOS DE PRUEBA EMPLEADOS: NOM - C - 36 C. 75. C - 77 C. 111 C. 154 C. 156 y C. 179

### Observaciones

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

REALIZO : \_\_\_\_\_

SUPERVISO : \_\_\_\_\_

# GERENCIA TECNICA

FORMATO 3

## REPORTE INTERNO DE ANALISIS DE GRAVA

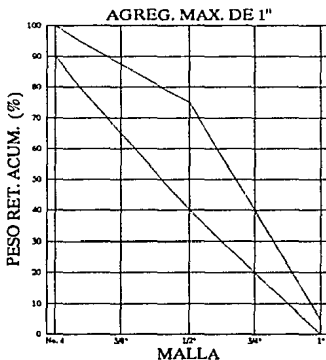
Fecha : \_\_\_\_\_  
 Análisis No: \_\_\_\_\_  
 Mina : \_\_\_\_\_  
 Localidad : \_\_\_\_\_

Tipo de grava : \_\_\_\_\_  
 Clasificación petrográfica : \_\_\_\_\_  
 Color : \_\_\_\_\_  
 T . M . A . \_\_\_\_\_

Densidad	Pass	kg/m <sup>3</sup>
	Volumen	
Absorción	Pass - Ps	(x100) %
	Ps	
Hum. Tot.	Ph - Ps	(x100) %
	Ps	

P . V . S .	Ps x Factor	kg/m <sup>3</sup>
P . V . C .	Pc x Factor	kg/m <sup>3</sup>
CONTAM.	Pass No. 4	x100 %
	( AR / GR ) Peso Total	

PROPIEDADES FISICAS	
DENSIDAD (MASA ESPECIFICA)	kg/m <sup>3</sup>
ABSORCION	(%)
HUMEDAD TOTAL	(%)
PESO VOL. SUELTO (P.V.S)	(kg/m <sup>3</sup> )
PESO VOL. COMPACTADO (P.V.C.)	(kg/m <sup>3</sup> )
COEFICIENTE DE FORMA	
CONTAMINACION DE AR. EN GR.	(%)
MODULO DE FINURA	



Malla	Peso Ret. (gra)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Que Pasa La Malla
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
No. 4				
Charola				
Total				

METODOS DE PRUEBA EMPLEADOS : NOM-0-86-C-73, C-77, C-111, C-164, C-188 y C-179

**Observaciones**

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

REALIZO : \_\_\_\_\_

SUPERVISO : \_\_\_\_\_



# GERENCIA TECNICA

FORMATO 4

## REPORTE INTERNO DE ANALISIS DE GRAVA

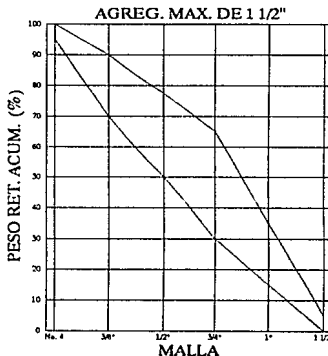
Fecha : \_\_\_\_\_  
 Análisis No: \_\_\_\_\_  
 Mina : \_\_\_\_\_  
 Localidad : \_\_\_\_\_

Tipo de grava : \_\_\_\_\_  
 Clasificación petrográfica : \_\_\_\_\_  
 Color : \_\_\_\_\_  
 T . M . A . : \_\_\_\_\_

Densidad -----	kg/m <sup>3</sup>
Pss Volumen	
Absorción ----- (x100) =	%
Pss - Ps Ps	
Hum. Tot. ----- (x100) =	%
Ph - Ps Ps	

P . V . S . -----	kg/m <sup>3</sup>
Ps x Factor	
P . V . C . -----	kg/m <sup>3</sup>
Pc x Factor	
CONTAM. (AR / GR) -----	%
Pasa No. 4 (AR / GR) Peso Total	
x 100 =	

PROPIEDADES FISICAS	
DENSIDAD (MASA ESPECIFICA)	(kg/m <sup>3</sup> )
ABSORCION	(%)
HUMEDAD TOTAL	(%)
PESO VOL. SUELTO (P.V.S)	(kg/m <sup>3</sup> )
PESO VOL. COMPACTADO (P.V.C)	(kg/m <sup>3</sup> )
COEFICIENTE DE FORMA	
CONTAMINACION DE AR. EN GR	(%)
MODULO DE FINURA	



Malla	Peso Ret. (grs)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Que Pasa La Malla
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
No. 4				
Charola				
Total				

METODOS DE PRUEBA EMPLEADOS: NOM-C-M C-73 C-77 C-111 C-116 C-118 y C-119

**Observaciones**

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

REALIZO : \_\_\_\_\_

SUPERVISO : \_\_\_\_\_

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 tenerse al respecto, ya se expuso anteriormente, y es en 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 lluvias, cuando el material se encuentra sobresaturado, emplean mallas de mayor abertura para no reducir su producción. Es muy conveniente llevar tablas de control en las que se indiquen 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 se refiere, como en el caso de la humedad, a las tablas de proporcionamiento, estas deben elaborarse en función de las mencionadas de contaminaciones.

**Sanidad.-** La sanidad de los agregados define su aptitud para resistir y permanecer inalterables bajo condiciones de cambios de servicio que generan acciones destructivas promovidas por cambios de volumen en el concreto de que forman parte, como efectos de congelación y deshielo, periodos alternados de humedecimiento, secado y variaciones extremas de temperatura. Sólo por referencia se menciona que existe una prueba que mide esa aptitud de los agregados y se denomina intemperismo acelerado.

**Sustancias deletéras.-** son las sustancias que estando presentes en los agregados pueden ser perjudiciales para la obtención de propiedades físicas o químicas en el concreto fresco o en su comportamiento posterior.

Los materiales muy finos se clasifican en: arcilla, limo y polvo de trituración que a pesar de ser indeseables, se toleran en cierta proporción. Los efectos pueden ser: aumento en el requerimiento de agua del concreto. Consecuencias: disminución de resistencia con la adherencia entre agregado y pasta, o con el proceso de hidratación del cemento. Se cuantifican por el tamizado por la malla 200 ó, en el caso de la arcilla en la arena, con la prueba del equivalente de arena.

La Norma Oficial Mexicana NOM-C-111 permite las siguientes cantidades de material más fino que la malla No. 200 (en % máximo).

Agregado	a) Concreto expuesto	b) Concreto no expuesto a la abrasión
Arena Natural	3	5
Arena Triturada	5	7
Grava Natural	1	1
Grava Triturada	1.5	1.5

**Impurezas Orgánicas:** Algunos tipos de materia orgánica pueden causar interferencias en la hidratación normal del cemento. La presencia de estas impurezas es más frecuente y difícil de eliminar en la arena que en la grava, de ahí que las pruebas usuales de cuantificación se hagan en la arena, siendo la más común la prueba de la colorimetría.

Partículas suaves, desmenuzables y ligeras. Aquí se agrupan todas las partículas que por su escasa resistencia pueden constituir una limitación para la resistencia y durabilidad del concreto, o bien partículas que al no deshacerse durante el mezclado del concreto pueden producir elementos perjudiciales.

Las partículas suaves se detectan principalmente en la grava donde sus efectos son más notables. Las partículas desmenuzables son generalmente terrones de arcilla encontrados en la grava o en la arena, los más perjudiciales son aquellos que no se rompen en el mezclado y después ocasionan problemas al concreto endurecido, se le limita con mucha rigidez (1% máximo) y se cuantifica por lavado en la malla 200.

**Forma y textura de partículas:** Estas características, poco atendidas, de los agregados suelen influir en el comportamiento del concreto fresco y endurecido, en la manejabilidad o trabajabilidad y en la adherencia posterior, respectivamente.

Hay ocasiones en que las partículas trituradas muy alargadas y las excesivamente esféricas son igualmente indeseables; las primeras por sus efectos adversos sobre la manejabilidad del concreto y las segundas porque por falta de adherencia limitan la posibilidad de obtener resistencias muy altas. En ambos casos, los agregados son susceptibles de mejorarse; en el primero, seleccionando un equipo adecuado de trituración acorde con las características de la roca y en el segundo, triturando una determinada proporción de las partículas para obtener un agregado mixto.

Si definimos el coeficiente de forma como: La relación entre el volumen de un fragmento de roca ( $v$ ) cuya dimensión mayor es "L" y el volumen de una esfera ( $V$ ) cuyo diámetro sea también "L":

$$c.f. = v/V = 6v / (L^3 \cdot \pi)$$

**Resistencia:** No se acostumbra establecer un procedimiento para determinar la resistencia del agregado, pues existe dificultad para medir con certeza esta característica, sobre todo cuando se trata de partículas pequeñas y el material es heterogéneo, se prefiere atenerse a la información que suministra el ensaye de especímenes de concreto hechos con los agregados en cuestión. Afortunadamente la mayoría de las rocas que constituyen los agregados para concreto manifiestan resistencia a la compresión de un orden muy superior al que se requiere en el concreto.

Como información se incluyen datos de resistencia a compresión, aproximadas, de algunos tipos de rocas.

Tipo de roca	$f_c$ max. kg/cm <sup>2</sup>	$f_c$ min. kg/cm <sup>2</sup>	$f_c$ promedio de varias muestras
Granito	2622	1167	1842
Caliza	2454	949	1617
Arenisca	2447	450	1336
Mármol	2489	520	1188

Existen, además, otras características físicas como son:

**Expansión térmica:** que es la aptitud de experimentar cambios de volumen por variaciones de temperatura. Y se mide por el coeficiente de expansión térmica, dado en millonésimas entre grados centígrados, algunos ejemplos son los siguientes:

Roca	Coefficiente de expansión térmica ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
Basalto	5.4
Mármol	7.0
Caliza	7.9
Granito	7.9
Arenisca	10

**Resistencia a la abrasión:** Esta característica se considera importante cuando el concreto estará expuesto a cualquier acción que produzca desgaste o erosión y se determina con ensayos como el de la máquina de los Angeles.

**Elasticidad:** es la capacidad de un material para deformarse bajo carga progresiva y recuperarse en la descarga, se expresa por medio del módulo de elasticidad, el cual puede ser a tensión o compresión y estático o dinámico. En el caso de rocas para

agregados se aplica el módulo de elasticidad estático a compresión determinándolo con la técnica usual (NOM C-128) elaborando especímenes de roca o bien embebiendo las partículas en una matriz de propiedades conocidas.

Por último cabe mencionar algo sobre Características Químicas: se puede decir que los agregados para concreto guardan una buena estabilidad física y química dado que han resistido edades geológicas, pero existen diversos agregados que pueden manifestar cambios o conducir a reacciones químicas con la pasta de cemento y afectar el comportamiento del concreto; existen dos casos que son los más conocidos y mencionados por su frecuencia, en los que intervienen el ataque de soluciones alcalinas derivadas de la hidratación del cemento, hacia dos clases de agregados: algunas rocas silíceas y ciertas calizas dolomíticas. En el primer caso se trata de una reacción álcali-silice y en el segundo álcali-carbonato.

Como todas las características y propiedades de los agregados influyen en el concreto fresco y/o endurecido, a continuación se presenta un cuadro en forma de resumen:

**PROPIEDADES DEL CONCRETO INFLUIDAS POR LOS AGREGADOS**

<b>Propiedad del Concreto</b>	<b>Propiedad del agregado</b>
<b>Durabilidad</b>	Sanidad Porosidad, Permeabilidad Estructura interna Grado de saturación Resistencia a tensión Forma y textura Limpieza, presencia de arcilla
<b>Resistencia a humedecimiento y secado</b>	Estructura interna Módulo de elasticidad
<b>Resistencia a calentamiento y enfriado</b>	Coefficiente de expansión térmica
<b>Resistencia a la abrasión</b>	Dureza
<b>Reacción álcalis-silice Reacción álcalis-carbonato</b>	Presencia de mineral reactivo Presencia de mineral activo
<b>Resistencia a compresión</b>	Resistencia a compresión Textura y Forma Limpieza Tamaño máximo
<b>Peso unitario</b>	Peso específico Forma Granulometría Tamaño máximo
<b>Módulo de elasticidad</b>	Módulo de elasticidad Relación de Poisson
<b>Economía</b>	Forma Granulometría Tamaño máximo Procesamiento requerido Disponibilidad
<b>Impermeabilidad</b>	Porosidad Sanidad Peso específico Granulometría Estructura interna Tamaño máximo Limpieza Textura

### III.3.- EL AGUA

Normalmente, las fuentes de agua que se encuentran al alcance para la fabricación del concreto son aceptables, pero en general se recomienda que toda agua que no haya sido aprobada previamente, se someta a un análisis comparativo de laboratorio, que consistirá en hacer ensayos de fraguado y resistencia a compresión con los materiales que se van a emplear, una serie con agua por probar y otra con agua previamente aceptada (puede ser agua destilada); el fraguado inicial no deberá variar considerablemente y la resistencia a compresión a la edad de 28 días, deberá ser mayor que el 90% de la obtenida con los especímenes hechos con el agua aceptada.

Como guía para la selección del agua de mezclado apropiada se recomienda lo siguiente:

- a) Las aguas potables de las ciudades están aceptadas para su empleo en el concreto. Salvo aquellos casos en que el contenido de cloro sea extraordinariamente grande, debido a que ayuda a la corrosión excesiva del acero.
- b) Un agua clara, que no tenga salado ni mal olor, es adecuada para el concreto. La materia en suspensión puede perjudicar al concreto.
- c) El azúcar es una de las sustancias más perjudiciales al concreto. Un 0.03% a 0.15% de azúcar respecto al peso del cemento, generalmente retarda el fraguado y puede reducir las resistencias a la edad de 7 días, aunque a los 28 días, las puede mejorar.

Para el abastecimiento de agua es frecuente disponer de tanques de almacenamiento que regulen el suministro y permitan, en algunos casos, la sedimentación de elementos en suspensión y eliminación de cuerpos flotantes. Es necesaria la limpieza periódica de estos tanques para eliminar el material depositado, resultando preferible disponer de varios tanques menores en vez de uno de mayor capacidad, pues de este modo se facilita la renovación total del agua cuando permanezca algunos días sin emplearse y sus características pudieran haberse modificado por la evaporación.

En ocasiones, mediante las pruebas necesarias, y no existiendo otra fuente disponible, se admite el uso de un agua que en condiciones normales se vería con desconfianza (agua de mar y aguas freáticas en terrenos salinos, por ejemplo). En estos casos, la excesiva evaporación en un cierto volumen de agua almacenado, puede aumentar considerablemente la concentración de sales respecto a las condiciones normales que permitieron su aceptación original, y el agua puede volverse inaceptable; de tal suerte que no basta con reponer el volumen evaporado sino que es necesario renovar todo el volumen almacenado.

También sucede que la falta de limpieza de los tanques permiten la reproducción de organismos vegetales acuáticos (algas).

### III.4.- LOS ADITIVOS

Un aditivo es un producto o un material, aparte del cemento, agregados y agua que se le adiciona al concreto, para inducir un comportamiento requerido por éste ya sea en estado fresco y/o endurecido, el cual no se puede conseguir con los materiales mencionados disponibles o se logra a un costo muy elevado.

Existe en el mercado un gran número de productos recomendados como aditivos para concreto. Algunos producen efectos más o menos proporcionales a las cantidades que se emplean, otros no. Además un aditivo puede manifestar efectos secundarios que no siempre son deseables, de aquí surge la conveniencia de recomendar el ensayo de cualquier aditivo antes de su aplicación en obra.

A continuación se muestra una relación de los aditivos más comunes, describiendo el objetivo de su aplicación:

**Acelerantes:** Aceleración del tiempo de fraguado y/o de la velocidad de adquisición de resistencia en las primeras edades.

**Retardantes:** Retardado del tiempo de fraguado.

**Fluidizantes:** Reducción del agua de mezclado (aumento de la resistencia, o aumento de la fluidez, o reducción en el contenido de cemento).

De este aditivo hablaré más, ya que es el que más se emplea en el medio de la industria del concreto premezclado y de hecho aplicable en forma sistemática en el concreto.

Existen sustancias químicas que, al ser adicionadas a una mezcla de concreto fresco, incrementan su fluidez como si aumentara el contenido de agua. Por ello, como permiten incrementar la fluidez sin aumentar el agua, se les llama fluidizantes o también llamados reductores de agua por considerar que permiten tener una fluidez dada con menor cantidad de agua.

De tal modo, esos efectos se canalizan hacia tres finalidades principales:

- a) Incrementar la fluidez de la mezcla, sin aumentar el agua, o sea, dejando constantes la cantidad de pasta de cemento y su relación agua/cemento, con lo cual no debe haber cambio en el consumo de cemento y en la resistencia a compresión.
- b) Conservar la misma fluidez, reduciendo el agua sin variar el contenido de cemento (menor relación agua/cemento), en cuyo caso debe aumentar la resistencia a compresión sin incrementar el consumo de cemento.



- c) Conservar la misma fluidez, reduciendo el agua y el cemento, de modo que se mantenga igual la relación agua/cemento, para conservar aproximadamente la misma resistencia, con menor consumo de cemento.

Las principales sustancias que se utilizan en la actualidad para estos propósitos son los ácidos lignosulfónicos o sus sales y los ácidos hidroxilcarboxílicos o sus sales, su acción consiste en una combinación de efectos físico-químicos sobre partículas de cemento, entre los que destacan los efectos humectantes, lubricantes y de dispersión, mediante los cuales las partículas adquieren más movilidad y se expone a la hidratación mayor área superficial de cemento.

Inclisor de aire.- Aumento de la durabilidad en condiciones de congelación y deshielo, aumento de la manejabilidad, reducción del agua y sangrado máximo 6%.

Estabilizadores de volumen.- Producción de una expansión ajustada para contrarrestar la contracción y obtener un volumen estabilizado en espacios abiertos.

Expansores.- Producción de una expansión incrementada para favorecer el empaque a presión en espacios confinados o para reducir el peso volumétrico (expansión libre).

Puzolanas.- Fijación de la cal liberada durante la hidratación del cemento aumento de la manejabilidad, reducción del agua de sangrado y control de la expansión álcali-agregado.

# **IV.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO**

## IV.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO

Entre las principales características del concreto fresco podemos considerar las siguientes:

Uniformidad  
Trabajabilidad  
Fraguado

A continuación se describen brevemente cada una de estas características.

### UNIFORMIDAD

Considerando que el concreto es un material heterogéneo que se produce mezclando diversos componentes en cantidades establecidas, es necesario que esta mezcla sea uniforme, de buena cohesión y no segregable. Para que esto ocurra se requiere conjugar dos condiciones indispensables:

Que la mezcla este correctamente diseñada y con la consistencia adecuada a las condiciones de ejecución de la obra.

Que se utilicen equipos y procedimientos de elaboración y colocación adecuados.

### TRABAJABILIDAD

Podemos definir el término "trabajabilidad" de un concreto como la facilidad que presenta para ser transportado, colocado y compactado. Es importante hacer notar que esta trabajabilidad es relativa. Un concreto trabajable para una presa puede no ser trabajable para una columna. Con base en esta definición se llega a la conclusión que no se conoce ningún procedimiento de ensaye que la mida directamente, sin embargo existen algunos que pueden proporcionar información útil dentro de intervalos razonables de variación.

### FRAGUADO

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

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

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

#### **PRIMERA ETAPA.**

Los trabajos de esta etapa consisten básicamente de los siguientes pasos:

- a) Verificación del funcionamiento y precisión de los equipos de dosificación y mezclado.
- b) Tolerancia en la medida de los materiales.

#### **SEGUNDA ETAPA.**

En esta etapa es necesario conocer las características del concreto fresco mediante la realización de pruebas al concreto elaborado.

Entre las pruebas que se le realizan al concreto fresco, tal vez a la que menos atención se le presta, es la determinación de tiempos de fraguado, aún cuando es una prueba que debe considerarse como importante, principalmente en aquellos casos en los cuales se emplean aditivos.

### **IV.1.- PRUEBAS PARA DETERMINAR LA TRABAJABILIDAD**

#### **REVENIMIENTO (NOM-C-156-1980)**

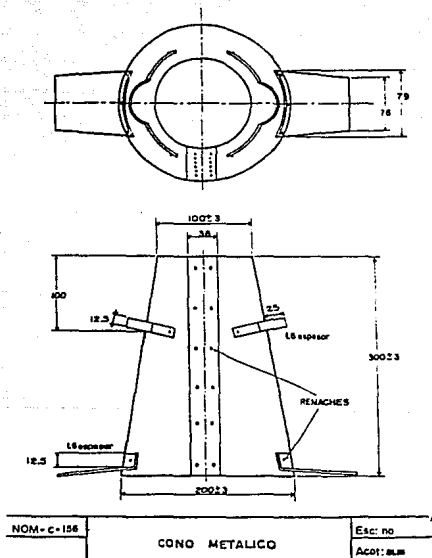
Determinación del revenimiento del concreto fresco.

El ensayo que con mayor frecuencia se realiza en las obras, es la determinación rutinaria de la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, esto es debido principalmente a su facilidad y al hecho de que se obtienen resultados inmediatos. Se puede considerar al valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad en la relación agua-cemento, para una relación grava-arena determinada.

La variación en el revenimiento es con frecuencia un medio para detectar variaciones en la relación agua-cemento, por lo que es posible utilizar esta prueba como un criterio para la aceptación o rechazo del concreto fresco, desde el punto de vista de las variaciones que esto podría ocasionar en la resistencia, en el proceso de transporte, colocación, compactación y acabado del concreto en la estructura.

La Norma Oficial Mexicana NOM-C-156-1980 da la siguiente definición de revenimiento:

Revenimiento es la medida de consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones especificadas, las cuales se muestran en la siguiente figura.



Equipo para la obtención del revenimiento.

Esta determinación es de gran importancia ya que con ella se decide si el concreto producido puede ser colocado. Una diferencia de 2.5 centímetros en la determinación, puede provocar el rechazo de una carga completa de concreto.

Se debe tener mucho cuidado ya que si se cometen errores de procedimiento se pueden ocasionar grandes problemas. Si la muestra no es representativa, si no humedecen el interior del cono, si no compactan varillando correctamente, o si no se utiliza la varilla adecuada, la prueba no será representativa de la calidad real del concreto.

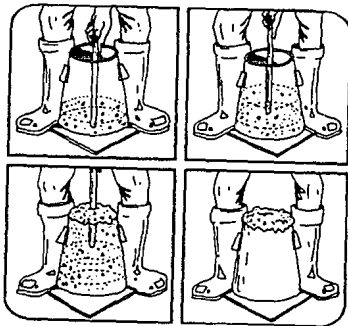
El equipo que se requiere para esta prueba es:

- Cono (con sus dos estribos y jaladeras)
- Cucharón ( que cuente con su mango)
- Varilla para compactación
- Cinta metálica

El procedimiento para determinar el revenimiento es el siguiente:

Una vez homogenizada la muestra, se selecciona una superficie plana, horizontal lisa, firme y no absorbente, que puede ser una placa metálica. Se humedece esta superficie y el interior del cono, a continuación se fija el cono sobre la superficie húmeda colocando los pies del operador sobre los estribos (posición en la que deberá mantenerlos durante toda la operación del llenado y compactado).

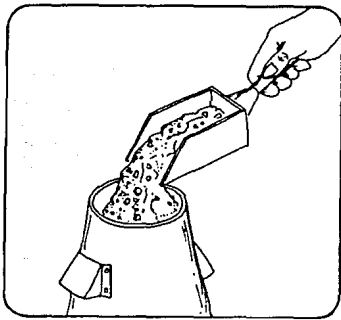
El cono debe llenarse en tres capas, cada capa debe ser de aproximadamente un tercio del volumen total del cono y hacer la compactación, en la siguiente forma:



La primera capa, que debe tener una altura aproximada de 7 centímetros, se compacta con 25 penetraciones de la varilla, inclinándola ligeramente para compactar las orillas siguiendo una espiral hacia el centro.

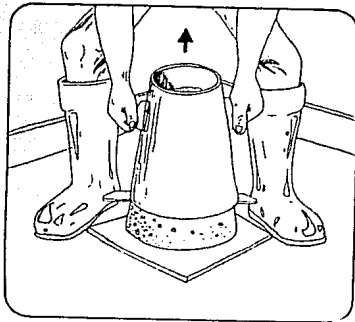
La segunda capa, con la que debes alcanzar una altura aproximada de 15 centímetros dentro del cono, se compacta con 25 penetraciones de la varilla, de la misma manera que se hizo al compactar la primera capa, pero procurando que en cada golpe, la varilla penetre aproximadamente 2 centímetros en la primera capa.

La tercera capa, con la que debe llenarse el cono y rebasar ligeramente el borde superior del mismo, se compacta también con 25 golpes de la varilla, en cada golpe debe penetrar 2 centímetros aproximadamente en la segunda capa. En caso de que durante la compactación de esta tercera capa, el concreto quede por debajo del borde superior del cono, puede agregarse un poco de muestra y continuar compactando hasta completar el número de golpes especificados. De preferencia, agregar muestra después de los primeros 10 golpes y en caso de ser necesario después del golpe número 20.



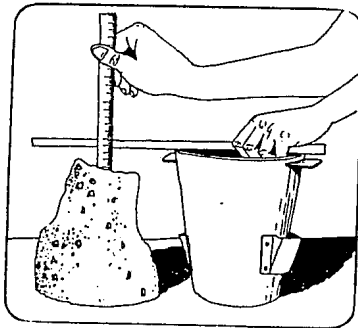
El enrasado del cono se realiza utilizando la varilla de compactación, enrasando el concreto apoyándose en el borde superior del cono. Una vez enrasado, se debe limpiar el exceso de concreto que haya alrededor del cono.

Después de enrasar y limpiar el exceso de concreto, procede a levantar el cono, de manera suave, para permitir que el concreto al liberarse del molde se asiente de manera normal, alzándolo verticalmente y evitando giros o inclinaciones del cono que podrían arrastrar el concreto. Para levantar completamente el cono, se requiere de un tiempo de 5 más menos 2 segundos.



Para la elaboración de esta prueba se cuenta con un tiempo de 2 1/2 minutos como máximo.

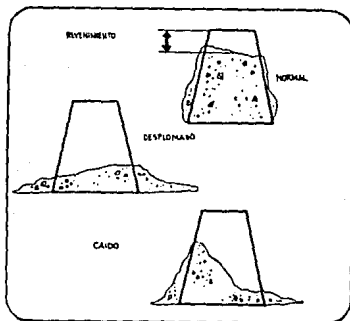
Inmediatamente después de levantar el cono, se coloca de cabeza junto al concreto asentado, poniendo la varilla acostada y horizontal sobre el borde del cono y en dirección de la altura promedio de la base superior en el concreto asentado. Se mide verticalmente con la cinta métrica, la diferencia que exista entre la altura del cono de metal y de la posición central de la superficie del concreto asentado. Esta medida es la del revenimiento y se debe reportar con una aproximación de un centímetro.





En la NOM-C-155-1984 "Concreto Premezclado" y ASTM-C-94, se establecen las siguientes tolerancias en la medida del revenimiento:

Revenimiento especificado	Tolerancia	
	NOM	ASTM
Hasta 5 cm	$\pm 1.5$ cm	$\pm 1.3$ cm
Más de 5 hasta 10 cm	$\pm 2.5$ cm	$\pm 2.5$ cm
Más de 10 cm	$\pm 3.5$ cm	$\pm 3.8$ cm



El valor del revenimiento debe determinarse en un tiempo que no exceda de 15 minutos contados a partir del momento en que se inicia la descarga.

En el caso de que el constructor no esté preparado para que se efectúe la descarga del concreto, la prueba de revenimiento no servirá para la aceptación o rechazo si se efectúa en un periodo que exceda de 30 minutos contados a partir de la llegada del transporte, el cual debe mantenerse operando a velocidad de agitación hasta haber efectuado la descarga.

## FACTOR DE COMPACTACION

No existe ningún método aceptado que mida en forma directa la trabajabilidad, es decir, la cantidad de trabajo que se necesita para lograr una compactación completa. Es posible que la mejor prueba con que se cuenta en la actualidad sea la que funciona a la inversa: se determina el grado de compactación logrado con una cantidad estándar de trabajo. El trabajo desempeñado incluye forzosamente el trabajo realizado contra la fricción superficial, pero éste se reduce al mínimo aunque puede ser que la fricción real varíe según la trabajabilidad de la mezcla.

El grado de compactación, llamado factor de compactación, se mide por la relación de densidad, o sea, la relación de densidad que se logre en la prueba comparada con la densidad del mismo concreto completamente compactado.

El aparato apropiado está constituido por dos tolvas en forma de cono truncado y un cilindro, los tres colocados uno encima del otro. Las tolvas tienen puertas con bisagras en su parte inferior. Todas las superficies están pulidas para evitar la fricción.

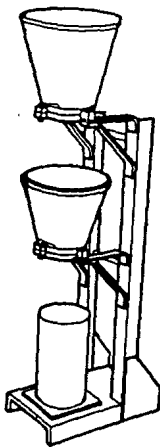
La tolva que está en la parte superior se llena de concreto, colocándolo con cuidado, para que en esta etapa no se ejerza ningún trabajo que produzca compactación. Después, se abre la puerta inferior de la tolva y se deja caer el concreto en la segunda tolva. Esta es más pequeña que la anterior, por lo tanto, se llena hasta derramarse y siempre contendrá aproximadamente la misma cantidad de concreto en su estado normal; esto reduce la influencia de la mano del hombre en el llenado de la tolva superior. Se abre la puerta inferior de la segunda tolva y se deja caer el concreto en el cilindro. El exceso de concreto se elimina con dos llanas que se deslizan por encima del molde, y se determina el peso neto del concreto en el volumen conocido del cilindro.

Se calcula entonces la densidad del concreto que está dentro del cilindro y está se divide entre la densidad del concreto completamente compactado; la resultante se llama factor de compactación. La densidad última se puede obtener llenando el cilindro con cuatro capas de concreto, cada una de ellas apisonada o vibrada, o calculándola, en su defecto, de los volúmenes absolutos de los componentes de la mezcla.

El aparato que se debe emplear para determinar el factor de compactación, para un concreto con un tamaño máximo de agregado mayor de 20 mm y hasta de 40 mm ( $3/4"$  a  $1\ 1/2"$ ), debe ser de un tamaño "grande". La altura de este último es de 1.8 m y por esta razón no se usa mucho en la práctica. Para el mismo concreto, el aparato grande proporciona un valor del factor de compactación un poco mayor que el aparato más pequeño. Por desgracia el aparato para determinar el factor de compactación no se utiliza con frecuencia, como no sea para trabajos de concreto prefabricado en obras de gran tamaño.

A diferencia de lo que sucede con la prueba de revenimiento, las variaciones de trabajabilidad del concreto seco se reflejan en grandes cambios del factor de compactación; la prueba es más sensible en el extremo más bajo de la escala de trabajabilidad que en el más alto. Sin embargo, las mezclas muy secas tienden a pegarse

en una de las tolvas, o en las dos, y es necesario empujar suavemente el material con una varilla de acero para hacerlo pasar. Más aún, parece ser que cuando se trata de concreto de muy baja trabajabilidad, la verdadera cantidad de trabajo que se requiere para lograr una compactación total dependerá de la riqueza de la mezcla, lo que no ocurre con el factor de compactación: las mezclas pobres necesitan más trabajo que las ricas. Sin embargo, la prueba del factor de compactación proporciona, sin lugar a duda, una buena medida de la trabajabilidad. Ref. ACI 211-3-75.

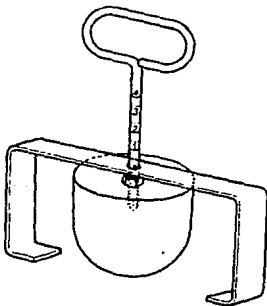


**Aparato para medir el factor de compactación.**

### ESFERA DE KELLY.

Se trata de una sencilla prueba de campo que determina la profundidad a la que penetra una semiesfera de metal de 152 mm de diámetro, que pesa 13.6 kg, en el concreto fresco.

Esta es una prueba más sencilla y rápida de realizar que la del revenimiento, sin embargo en nuestro medio no se ha generalizado su uso. El método consiste en medir la penetración en el concreto de una esfera de 3" de radio y 30 lb de peso. A fin de evitar efectos de frontera, la profundidad del concreto que se prueba no debe ser menor de 20 cm, y la menor dimensión lateral de 46 cm. No existe una correlación directa entre esta prueba y la de revenimiento ya que ninguna de las pruebas miden propiedades básicas del concreto. Ref. ASTM C 260-63.



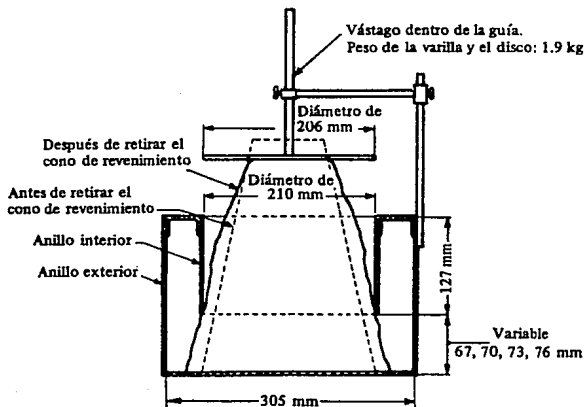
**Esfera de Kelly.**

## PRUEBA DE REMOLDEO DE POWERS.

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

A continuación se muestra un diagrama del aparato adecuado. Un cono estándar de revenimiento se coloca en un cilindro de 305 mm de diámetro y 203 mm de altura, que se afirma sobre una mesa de fluidez y se ajusta para una caída de 6.3 mm. Dentro del cilindro principal se encuentra un anillo interno de 210 mm de diámetro y 127 mm de altura. La distancia entre el fondo del anillo interior y el fondo del cilindro principal se puede determinar entre 67 y 76 mm.

El cono de revenimiento se llena de manera habitual, se quita, y se pone encima del concreto un pisón en forma de disco, que pesa 1.9 kg. Después se sacude la mesa a razón de una sacudida por segundo, hasta que la base del pisón esté a 81 mm sobre la placa de base. En esta etapa la forma del concreto ha cambiado de tronco-cónica a cilíndrica. El esfuerzo que se requiere para lograr el remoldeo se expresa como el número de sacudidas necesarias. Para mezclas muy secas puede requerirse un esfuerzo considerable. Esta prueba es exclusiva para laboratorio, pero es valiosa, ya que el esfuerzo de remoldeo está íntimamente relacionado con la trabajabilidad.



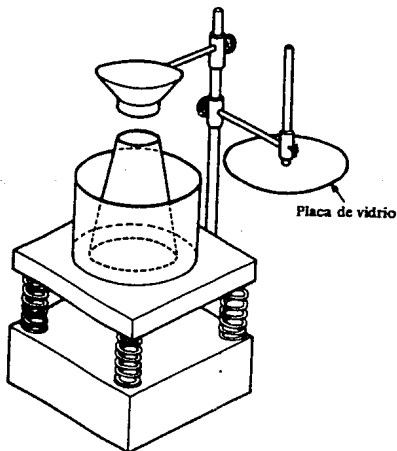
Aparato para la prueba de remoldeo.

## PRUEBA VEBE.

Esta es una variación de la prueba de remoldeo en la que el anillo interno del aparato de Powers se omite y la compactación se logra mediante vibrado en lugar de sacudimiento. Se supone que el remoldeo se ha logrado cuando el pisón de placa de vidrio queda totalmente cubierto por el concreto y han desaparecido todas las cavidades de la superficie. Esto se juzga en forma visual, y la dificultad para establecer el punto final de la prueba puede ser una fuente de error. Para compensarla, se puede colocar un dispositivo automático que registre los movimientos de la placa en relación con el tiempo.

La compactación se logra empleando una mesa vibratoria con un peso excéntrico que gira a 3 000 revoluciones por minuto y con aceleración máxima de 3 a 4 g. Se supone que la energía que se necesita para la compactación es una medida de la trabajabilidad de la mezcla, que se expresa en segundos Vebe; es decir, el tiempo que se requiere para que el remoldeo sea completo. Algunas veces se aplica un factor de corrección en el volumen del concreto.

La Vebe es una buena prueba de laboratorio, en especial para mezclas muy secas, en comparación con la prueba del factor de compactación, que puede tener errores introducidos por la tendencia de algunas mezclas secas a pegarse en las tolvas. La prueba Vebe tiene también la ventaja de que el tratamiento del concreto para hacerla es muy parecido al método que se utiliza para colocar el concreto en la práctica. Ref. ACI 211-3-75.



Aparato Vebe.

## MESA DE FLUIDEZ ALEMANA.

Esta prueba se ha extendido mucho recientemente y, por lo tanto su uso es de gran interés. El aparato consiste primordialmente en una tabla cubierta por una placa de acero con peso total de 16 kg. Dicha tabla se sujeta por medio de bisagras a uno de los lados de una tabla base; cada una de ellas debe medir 700 mm cuadrados. La tabla superior se puede levantar hasta un tope que permite que el borde libre alcance los 40 mm. Cuenta con marcas que indican la ubicación del concreto que ha de depositarse en ella.

La superficie de la tabla se humedece y se coloca en forma de cono truncado, ligeramente apisonado con un pisón de madera, usando para ello un molde de 200 mm de alto, con diámetro inferior de 200 mm y superior de 130 mm. Se quita el exceso de concreto, se limpia la superficie de la mesa que rodea el cono, y después de 15 segundos, se levanta la parte superior de la mesa 15 veces en 15 segundos, movimiento que evita que la fuerza aplicada contra el tope sea significativa. Como consecuencia, el concreto se extiende y, entonces, se mide su extensión máxima en forma paralela a los bordes de la mesa. El promedio de esos dos valores, dado hasta el milímetro más cercano, representa la fluidez. Un valor de 400 representa una trabajabilidad intermedia y uno de 500, una alta.

En esta etapa, el concreto debe tener una apariencia uniforme y cohesiva; de no ser así, la prueba se considera no adecuada para la mezcla de que se trata. Además, esta prueba proporciona un indicio de la cohesión de la mezcla.

La norma alemana DIN 1048; proporciona todos los detalles de la prueba.

## SONDA K DE NASSER.

Es uno de los intentos más recientes, que tiene como objetivo encontrar una prueba sencilla para determinar la trabajabilidad. En este caso se introduce verticalmente una sonda a cierta profundidad dentro del concreto fresco contenido en un molde, antes o después de la compactación; después de sacar la sonda, que se deja dentro durante un minuto, se mide la altura residual del mortero en el tubo. El diámetro extremo de la sonda es de 19 mm y tiene orificios por los que puede penetrar el mortero al tubo.

Nasser y Rezk sostienen que la prueba proporciona una medida de la trabajabilidad del concreto, porque la altura de la sonda se ve afectada por las fuerzas cohesivas, adhesivas y de fricción de la mezcla. Así pues, una mezcla demasiado húmeda, con alto revenimiento, provocaría que se retuviera en la sonda un nivel relativamente bajo de mortero, como resultado de la segregación. Sin embargo, parece ser que la lectura de la sonda está relacionada con el revenimiento, siempre que éste no exceda de 80 mm.

## IV.2.- FACTORES QUE AFECTAN LA TRABAJABILIDAD

El principal factor es el contenido de agua de la mezcla, expresada en kilogramos de agua por metro cúbico de concreto.

Si el contenido de agua y las demás proporciones de la mezcla son fijas, la trabajabilidad está regida por el tamaño máximo de los agregados, su granulometría, forma y textura. Sin embargo, la granulometría y la relación agua/cemento se deben considerar juntas, ya que la granulometría que produce el concreto más trabajable para una relación agua/cemento dada puede no ser la mejor cuando se trate de otro valor de dicha relación. Mientras mayor sea la trabajabilidad. Para determinado valor de la relación agua/cemento habrá un valor correspondiente de la relación entre los agregados grueso y fino, que proporcionan la mayor trabajabilidad. A la inversa, para una trabajabilidad dada, hay una relación entre los agregados grueso y fino que requiere el menor contenido de agua.

En la realidad, la trabajabilidad está regida por las proporciones volumétricas de partículas de diferentes tamaños, de tal manera que, cuando se usan agregados con distintas densidades, las proporciones de la mezcla se deben evaluar con base en el volumen absoluto de cada fracción de tamaño. Esto también se aplica cuando hay aire incluido en el concreto, puesto que el aire incluido se comporta como las partículas finas sin peso. La influencia de las propiedades de los agregados en la trabajabilidad disminuye conforme aumenta la riqueza de la mezcla y posiblemente desaparece por completo cuando la relación agregado/cemento es tan baja como  $2 \frac{1}{2}$  ó 2.

En la práctica es necesario tener mucho cuidado al prever la influencia de las proporciones de la mezcla en la trabajabilidad, puesto que, de los tres factores:

Relación agua/cemento  
Relación agregado/cemento  
Contenido de agua

Solo dos son independientes. Por ejemplo:

Relación agregado/cemento	Relación Agua/cemento	Agua	TRABAJABILIDAD
Se reduce Se reduce	Constante Se reduce	Aumenta Constante	Aumenta No se afecta *

\* Es conveniente esta relación debido a ciertos efectos secundarios.



### Efecto del tiempo y la temperatura sobre la trabajabilidad.

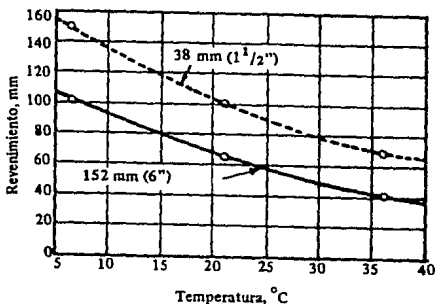
Con el tiempo, el concreto recién mezclado se rigidiza, pero este proceso no se debe confundir con el fraguado del cemento. Significa que los agregados han absorbido una parte del agua de mezclado, otra parte de ella se ha expuesto al sol o al viento, y otra más se ha eliminado por las reacciones químicas iniciales.

Durante un periodo de una hora después de mezclar, el valor real de la pérdida de trabajabilidad dependerá de la riqueza de la mezcla, del tipo de cemento, de la temperatura del concreto y de la trabajabilidad inicial.

El cambio de trabajabilidad con relación al tiempo también varía de acuerdo con las condiciones de humedad de los agregados, si los agregados están secos, la pérdida es mayor debido a que éstos absorben la humedad.

La temperatura ambiente también afecta la trabajabilidad aunque, lo que es importante es la temperatura del concreto. La gráfica 1 proporciona un ejemplo del efecto que ejerce la temperatura sobre el revenimiento en un concreto mezclado en el laboratorio. Se observa que en un día cálido se debe aumentar el contenido de agua en la mezcla, para poder obtener una trabajabilidad constante. La gráfica 2 muestra que conforme aumenta la temperatura, incrementa también el porcentaje de agua que se requiere para obtener un cambio de 25 mm en el revenimiento.

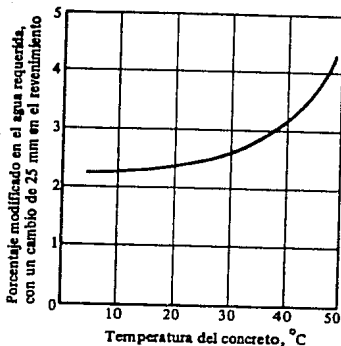
Gráfica 1



Sin embargo la pérdida de trabajabilidad debida al aumento de la temperatura no se ha comprobado por medio de las pruebas de campo efectuadas en clima cálido. Hasta una temperatura de 40°C y con una humedad relativa del 20 al 70%, no se observó ningún

efecto de la temperatura sobre el revenimiento. Soló cuando la temperatura es mayor de 50°C y la humedad relativa menor de 20%, el revenimiento disminuye con gran rapidez.

Gráfica 2



En climas secos y cálidos el revenimiento se pierde más que la facilidad de colocación. Por lo tanto, no hay un gran aumento en la cantidad de agua requerida. Esto se aplica hasta 40°C y dentro de los 20 minutos posteriores al mezclado.

# **V.- PRODUCCION**

## V.- PRODUCCION

### V.1.- CERTIFICACION, VERIFICACION Y MANTENIMIENTO DE 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 industria es decisivo y crítico. La razón salta a la vista, por citar un ejemplo, una planta premezcladora de regular tamaño tiene una capacidad de  $50 \text{ m}^3$  por hora, esto es, que en un turno producirá del orden de  $400 \text{ m}^3$  de concreto. Supóngase que la báscula de cemento sufrió un desajuste y que la cantidad de cemento adicionado por  $\text{m}^3$  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:

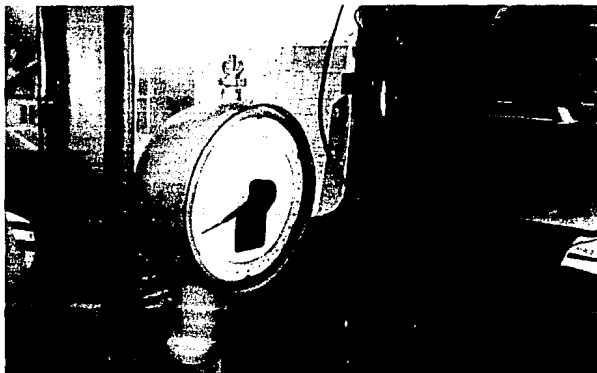
- 1.- El 50 por ciento aproximadamente de este concreto, ó sea,  $200 \text{ m}^3$  no alcanzaría a 28 días la resistencia de diseño.
- 2.- El 20 por ciento del mismo presentaría valores menores a  $f'c$  menos  $50 \text{ kg/m}^2$ , lo cual lo sitúa por debajo del límite inferior mínimo permitido, para 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, debería reforzarse ó bien 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 apoyándose 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.

### BASCULAS.

Las plantas dosificadoras estan provistas de depósitos con compartimientos separados adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños del agregado grueso que se acostumbre utilizar, cada compartimento del depósito debe ser marcado y operado de tal forma que la carga 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 ó más de la capacidad de la tolva-báscula, 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, aceptado 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 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 vertedores y válvulas para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

**Dosificador 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 vertedores para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de aditivos en el dispositivo.

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

## MEZCLADORAS.

Una vez medidas las cantidades de los materiales, el siguiente paso consiste en revolverlos hasta lograr una mezcla uniforme, homogénea. Existe una gran variedad de mezcladoras, pero de acuerdo a su funcionamiento puede 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 revoltura, con lo cual se produce el doble efecto de distribución y batido. En esta categoría se encuentran todas las revolvedoras de tambor entre ellas el camión revolvedor, y estas son propias para

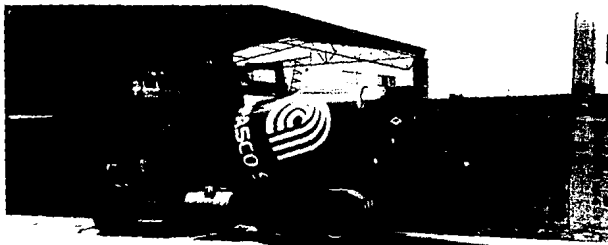
mezclas cuya resistencia varie de semiplástica a fluida, esto es, de revenimiento de 5 a 14 cm.

En la segunda clasificación de mezcla forzada, cuando al material semiconfinado entre las paredes del recipiente, las paletas que los desplazan le producen un efecto de amasado. De esta clase son las revolventoras llamadas de tazón (panmixer) ó de turbina, las cuales son muy diferentes para mezclas de consistencia seca y permiten producir concreto con agregado hasta de 1 1/2", sin ningún problema.

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

La velocidad de rotación no debe ser demasiado lenta porque se tendrá un mezclado débil y no se logrará una adecuada homogenización; 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 revolventora se tendrá una velocidad y tiempo óptimo de mezclado, pero en lo que a revolventoras 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 NOM-C-155 tabla 6, la cual se reproduce a continuación:



**Tabla 6 de la NOM-C-155.- REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DE MEZCLADO DEL CONCRETO**

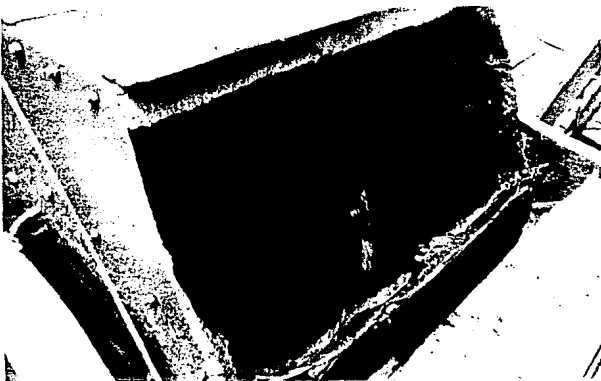
<b>Prueba.</b>	<b>Diferencia máxima permisible entre resultados de prueba con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga. (*)</b>
Peso volumétrico (determinación según la norma NOM-C-162 en vigor) en kg/m <sup>3</sup> .	15 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire en % del volumen del concreto (determinación según norma NOM-C-157 en vigor) para concretos con aire incluido.	1%
<b>Revenimiento.</b>	
Si el revenimiento promedio es menor de 5cm.	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 compresión 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 espas y la capacidad máxima en términos de volumen de concreto mezclado, cuando se usan para el mezclado completo de concreto. Las mezcladoras estacionarias deben equiparse con dispositivos de tiempo adecuado que permita controlar el tiempo de mezclado especificado. El tiempo de mezclado debe ser medido desde el momento en que esten

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 revolventoras 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 aumentando 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 marcados 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 sola 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 estará girando durante la operación. No es conveniente el vaciado súbito de ninguno de los ingredientes.

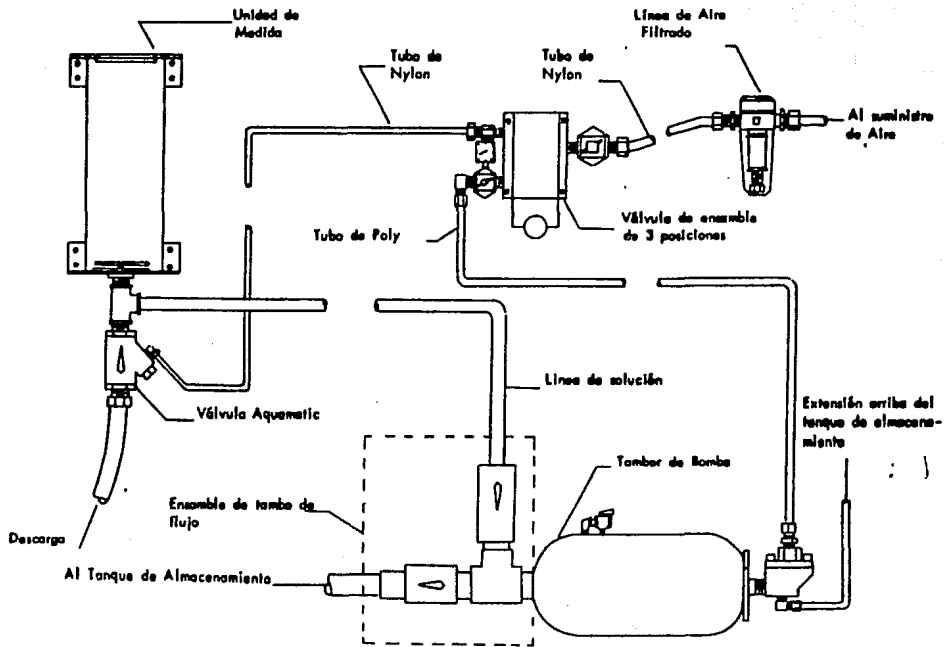
Los aditivos deben emplearse de preferencia, en estado líquido y ser adicionados con el agua de mezclado, en el caso que esto sea posible, deben adicionarse paralelamente al flujo de descarga del agua. Cuando haya que adicionar algún aditivo en polvo puede mezclarse con los agregados y en el caso de los aditivos del tipo del polvo de aluminio, este debe mezclarse previamente con el cemento.

#### DOSIFICADORAS DE ADITIVO.

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



## V.2.- CONTROL DE LOS MATERIALES

Es aquí en el control de los materiales en donde realmente se debe implantar el control de calidad en la producción de concreto. Por la importancia que esto tiene, se trata como un capítulo por separado (CAPITULO III).

En el cual se describen las pruebas que se le realizan a cada uno de los materiales componentes del concreto, para su aceptación o rechazo, para la elaboración del concreto.

## V.3.- MANEJO DE LOS MATERIALES

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

Ya que en la producción de concreto a nivel industria, la calidad de éste debe ser constante 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 deberán ser conforme a procedimientos adecuados, y con las debidas adaptaciones tanto de equipo como instalaciones.

### CEMENTO.

Su proceso de elaboración termina con el almacenamiento de éste en los silos de las fábricas, conforme sale de la molienda, momento en el que el producto posee, generalmente, una temperatura elevada que depende de factores tales como temperatura del clinker 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 concreto puede hacerse en sacos de 50 kg ó bien a granel. Cuando se recibe en sacos, requiere de una serie de maniobras adicionales para su almacenamiento y su uso, que redundan generalmente en mayor costo unitario de producción, ya que existen desperdicios excesivos, en algunas ocasiones más allá 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 cerrada 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, deben 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 acondicionados para transportar el cemento con tolvas de descarga, siempre y cuando se cuente con dispositivos que transportarán a éste a la tolva de la planta, por medio de gusanos ó serpentines, y de esta tolva a su vez se eleven y descargen 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. Independientemente 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) Deben 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 el interior deben 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 previstos 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 los 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 se presentarán problemas de aceleración en el fraguado, así como pérdida en el revenimiento, debido a esto, es muy importante que en una planta dosificadora de concreto se lleve un registro de temperaturas del cemento, conforme se recibe, a fin de disponer de datos que permitan tomar las medidas necesarias.

## **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, tituración de tamaños sobrantes ó exceso, beneficio del material clasificado, 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, en el caso de utilizar agregado grueso con aristas vivas y/o forma laminada, así como agregado fino con vértices agudos, la manejabilidad disminuye.

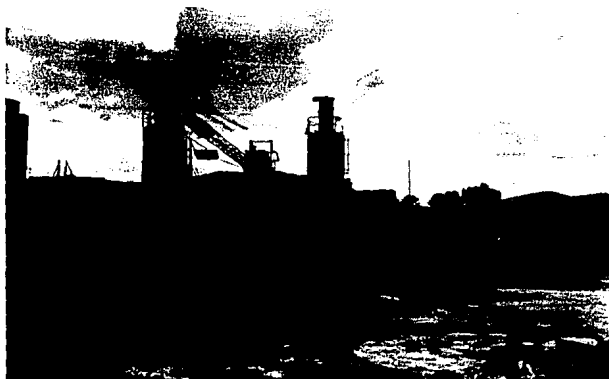
Es por esto que se debe tomar en cuenta desde la naturaleza de las rocas, en cuanto a la forma que van a doptar al ser trituradas, de acuerdo con la estructura cristalina de sus materiales y la presencia de placas débiles producidas por esfuerzos residuales. Por ejemplo, hay algunas rocas ígneas de estructura 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 de ángulos.

Ahora bien, una vez comentado brevemente 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 agregados, en contacto con el terreno, no menor de 30 cm de espesor. Cualquiera de estas medidas será eficaz para evitar la contaminación del agregado con el terreno natural.



- c) Construir pilas de almacenamiento mediante capas horizontales formadas por pequeños y muy cercanos montículos correspondientes a los diferentes volúmenes depositados en cada viaje por el equipo de transporte. Cada capa sucesiva debe reducirse en extensión, a fin de formar una pila con superficie perimetral escalonada. Por este medio deben evitarse taludes extensos por donde puedan rodar las partículas y clasificarse.

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

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



- c) Construir pilas de almacenamiento mediante capas horizontales formadas por pequeños y muy cercanos montículos correspondientes a los diferentes volúmenes depositados en cada viaje por el equipo de transporte. Cada capa sucesiva debe reducirse en extensión, a fin de formar una pila con superficie perimetral escalonada. Por este medio deben evitarse taludes extensos por donde puedan rodar las partículas y clasificarse.

- d) No yuxtaponer fronteras entre dos almacenamientos contiguos, separándolos ó interponiendo un muro ó rampa.
- 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 almacena 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 la tolvas, el agregado debe caer en el centro de las mismas, siendo éstas de sección horizontal reducida y paredes de fondo con inclinación no menor de 50 grados con la horizontal. La compuerta de descarga debe quedar centrada en el propio fondo.
- i) En descargas de agregado grueso, evitar la caída libre que provoque el rompimiento de partículas. Para este objetivo se emplean dispositivos como la escalera de agregados.

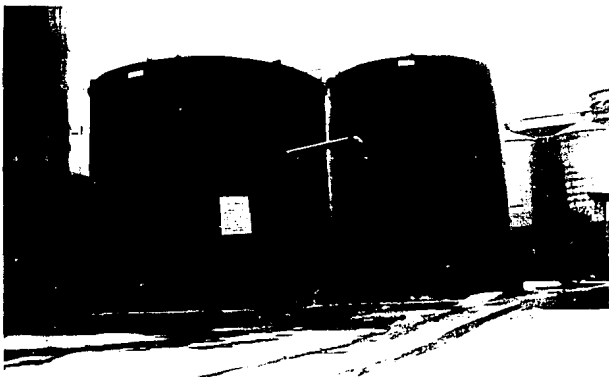
## **AGUA.**

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 substancias 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 necesaria la limpieza periódica de estos tanques, tanto para eliminar el material depositado, como para evitar la reproducción de organismos vegetales acuáticos (algas), ya que se ha observado que la introducción de estos organismos en las mezclas de concreto, producen 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 desee utilizar agua, de la cual no se conoce su comportamiento, será necesario someterla a ensayos previos
- b) Normalmente el agua potable de las ciudades es aceptable para ser utilizada en el concreto, a excepción de aquellos casos en que contenga gran cantidad de cloro (más de 500 p.p.m.), ya que propiciara la corrosión excesiva del acero de refuerzo y presfuerzo, quedando por lo tanto, prohibido 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 valida también para sólidos en suspensión.
- d) Las aguas negras y de desperdicios industriales, son perjudiciales al concreto, ya que contienen materias orgánicas, aceite, acido orgánico e inorgánico, substancias alcalinas, materias en suspensión que son perjudiciales, ya que reducen substancialmente la resistencia a la compresión del concreto. Además de algunos efectos 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 presforzado, 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.

## **ADITIVOS.**

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

La preparación de cualquier aditivo previamente a su introducción en la mezcla del concreto debe basarse 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 dosifican 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 la 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 bien 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 permitan una adecuada dispersión o 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, retardantes y acelerantes.

Puede existir incompatibilidad de dos o más aditivos en la misma solución, por lo tanto, se recomienda que se adicionen por separado y en diferentes momentos de la mezcla. En cuanto al almacenamiento, se hace en tanques especialmente diseñados para este propósito y deben respetarse las indicaciones del fabricante al respecto.

Aditivos en polvo y minerales finamente divididos. De estos aditivos se tienen algunos inclusores de aire, acelerantes, colorantes, reductores de agua ó fluidizantes, etc. Con ellos pueden preparar soluciones las cuales es inconveniente 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 conozcan 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 absorverla. Por lo que se recomienda se mantengan en un lugar protegido de la lluvia.

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 y escoria granulada de alto horno.
- c) Puzolanas, como "Flay ash", vidrio volcánico, tierra diatomácea y algunos esquistos o arcillas.

Estos aditivos minerales finamente divididos, deben protegerse de la humedad y de la contaminación, almacenándose en estructuras impermeables, ya 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 el ACI-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 formarse bolas, así mismo si se agregan al final cuando la mezcla ya está formada, difícilmente podrán distribuirse de manera uniforme.**

# **VI.-VERIFICACION DE LA CALIDAD**



## **VI.- VERIFICACION DE LA CALIDAD**

La verificación de la calidad del producto es un aspecto importante en la producción y suministro del concreto premezclado, y es además deseable y conveniente que se lleve a cabo, ya que garantiza la seguridad de las estructuras.

Para poder cumplir con esta verificación, la planta premezcladora cuenta con un laboratorio de verificación, el cual tiene que hacer muestras y ensayos al producto con el fin de determinar si este cumple o no con las especificaciones, la toma de estas muestras se puede llevar a cabo en la planta o en el sitio de descarga del concreto (en la obra).

Una muestra consta de cuatro especímenes cilíndricos, los cuales se elaboran según la NOM-C-159, y son curados durante 24 horas en el sitio de elaboración. Posteriormente se transportarán al laboratorio, donde se extraerán de los moldes y se almacenarán en condiciones estándar de temperatura y humedad, para ser ensayados a compresión según la NOM-C-83, de la siguiente manera : un cilindro a 3 días, otro a 7 días y los dos restantes a la edad especificada, esto es, si es concreto normal se ensayará a 28 días, si es concreto rápido se ensaya a 14 días.

Los resultados de estos ensayos se utilizan para la elaboración de reportes y cartas de control, con el objeto de conocer la calidad del concreto que se está produciendo en la planta premezcladora.

### **VII.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, o por lo menos influir, en la capacidad de carga de las estructuras de concreto.

Es la prueba más sencilla, rápida y de resultados más reproducibles, entre las que pueden efectuarse al concreto endurecido.

Existen 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, lo que con más frecuencia se determine.

La resistencia a compresión del concreto se determina sobre especímenes de prueba representativas. Para que esta condición se cumpla, es necesario seguir los procedimientos de muestreo y elaboración de cilindros especificadas en : NOM-C-161 "Muestreo de Concreto Fresco", y NOM-C-160 "Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto".

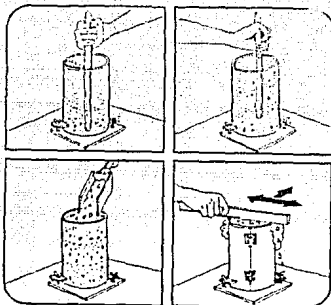
Cuando se desea verificar la resistencia a la compresión del concreto, es necesario que las muestras se elaboren, curen y ensayen en condiciones invariables, ya que de no ser así, los resultados serán seguramente función de las diferentes condiciones en las que se maneje el concreto y no consecuencia 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 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, 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 cm, ya que de no lograrse esta total compactación, la resistencia a la compresión se verá reducida.



- 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 de humedad, a la temperatura de  $23 \pm 2$  °C hasta el momento de la prueba.

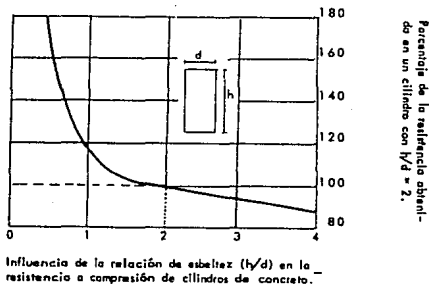


El tratamiento de curado húmedo de los especímenes descimbrados significa que los especímenes de prueba tienen agua libre, sobre toda la superficie, en todo momento. Esta condición se cumple por inmersión en agua saturada de cal a la temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , ó con almacenamiento en un cuarto ó gabinete húmedo, cuya humedad relativa sea del 95 al 100 por ciento y su temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . Los especímenes no deben exponerse al goteo ó corriente de agua.

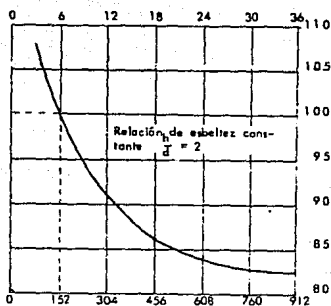
- c) Edad de prueba: Los cilindros normalmente se ensayan a edades iniciales de 3 y 7 días, con el fin de determinar sus características potenciales de resistencia, ya que existe forma confiable de inferir los valores de resistencia a edades de diseño. Esto es, de 14 días para concretos de resistencia rápida y a 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. Para evitar la influencia perjudicial de partículas demasiado grandes de agregados 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 cm de diámetro por 30 de altura.



Conviene observar lo que ocurre con la resistencia cuando un mismo concreto se ensaya en especímenes cada vez mayores. El resultado se muestra en la siguiente gráfica, que indica como disminuyen los resultados de resistencia a medida que aumenta el diámetro de la muestra. Ahora bien, en sentido inverso al disminuir el diámetro aumenta la resistencia, pero para ello se tiene una mayor dispersión de valores, esta es la causa por la que se prefiere mantener los cilindros de 15 x 30 cm.

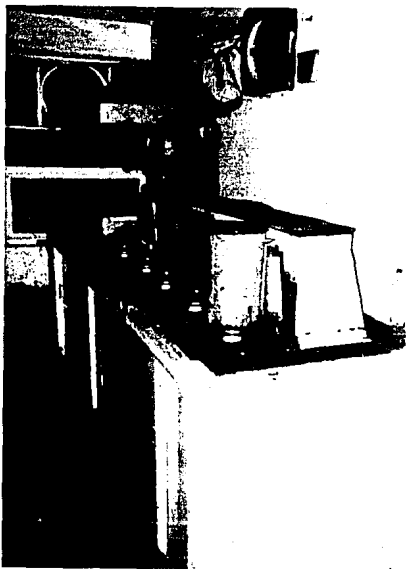


Porcentaje de la resistencia obtenida en un cilindro estándar de 152 X 304 mm.

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

- 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 requisitos indicados, se disminuye la resistencia del cilindro por la concentración de esfuerzos de compresión, ó bien la presencia de los de tensión en su área transversal.

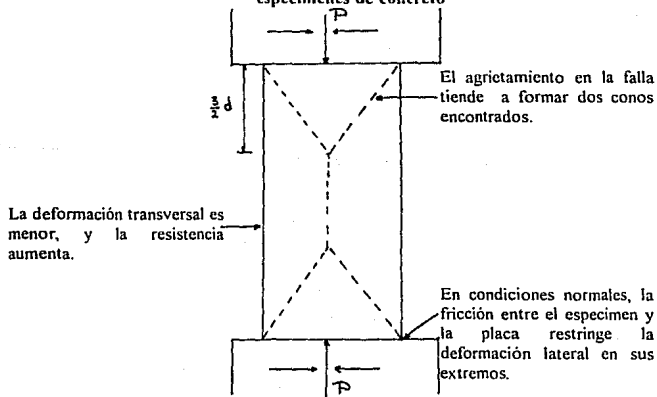
Otro aspecto del ensaye que influye en la resistencia de la pieza, se refiere a la fabricación entre sus cabezas y las platinas metálicas de la máquina. Al reducirse la fricción (mediante un lubricante por ejemplo), disminuye la carga que produce la ruptura del espécimen.

Esto se debe a que al deformarse menos transversalmente el acero de las platinas que el concreto, restringe la deformación en la velocidad 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 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 ésta en planos de falla inclinados que tienden a formar dos conos concurrentes en sus vértices, cuya altura aproximada es  $0.4h$ , siendo  $h$  la altura del espécimen.

Ahora bien, cuando intencionalmente se interpone un lubricante entre las cabezas de la pieza de prueba y las platinas, el concreto se deforma lateralmente con libertad y sin esfuerzos de corte; en este caso la falla del espécimen ocurre según planos aproximadamente verticales. Como se muestra en la siguiente figura:

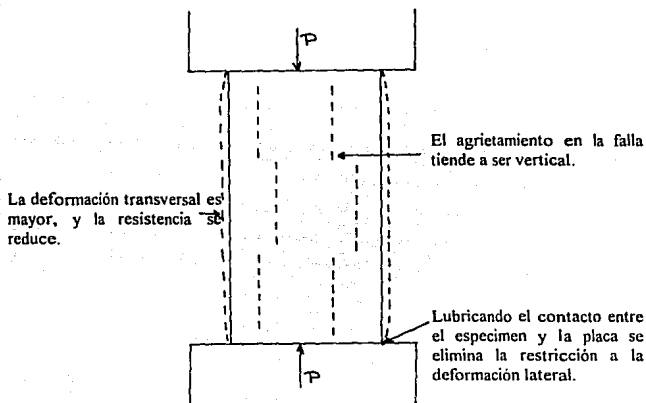
#### Influencia de las condiciones de contacto sobre la resistencia a compresión de especímenes de concreto



Con fricción entre el espécimen y las placas.



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



Eliminando la fricción entre el espécimen y las placas.

**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 hecho 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 idénticas, 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 cm equivale a una velocidad de 15 a 38 ton/min.



estándar. Por consiguiente, el ensaye se debe llevar acabo en cuanto las muestras se retiren del cuarto de curado.

## VI.2.- ANALISIS ESTADISTICO

La resistencia a la compresión en el concreto es su principal indice 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 deberían ser mayores, sino iguales. De tal suerte que si se diseñaba y elaboraba correctamente una mezcla de concreto, controlando al máximo sus ingredientes y su producción, debería dar exactamente la resistencia calculada.

Por otra parte, siempre que un cilindro de prueba de aceptación indicaba que la resistencia era menor a la requerida, era común evadir la cuesta diciendo que la muestra ó espécimen no estaba bien hecho ó en otros casos, se 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 demoliera el concreto y lo reemplazara, cuando en realidad, el bajo resultado podría haber sido una indicación perfectamente normal y justificada, de las variaciones de nuestro universo, y además este valor de resistencia ser perfectamente compatible con los permisibles para el criterio de diseño de la estructura y por ende, de su coeficiente 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, lograba evitar resistencias menores a las especificadas.

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

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 conocer su comportamiento, y una vez hecho ésto, adoptar nuestras necesidades a este comportamiento, y que por lo tanto pretender combinarlo 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 encuentra en un proceso de producción a nivel industrial, elaborando concreto para un mismo tipo de elementos estructurales, situación por la que las características de todo el concreto solicitado eran las siguientes:

Clase "A" según la NOM-C-155

$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Tipo = Normal

Tamaño Máximo de Agregado = 20 mm

Revenimiento = 10 cm

Por especificaciones de obra se requería determinar en cilindros la resistencia de cada una de las diferentes mezclas entregadas. Este concreto era transportado por unidades revolventoras desde la planta hasta la obra en volúmenes del orden de cinco metros cúbicos.

Para llevar a cabo esta verificación, se contrató a un laboratorio de reconocido prestigio quien se encargó de efectuar el trabajo conforme a normas vigentes, 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 lo tanto 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 RESISTENCIA DEL CONCRETO SUMINISTRADO POR  
CONCRETOS "X" EN LA OBRA DENOMINADA CONSTRUCTORA "Y"**

Características del concreto:

Concreto Clase "A" NOM- C-155

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

Tipo = Normal

Valores de resistencia obtenidos:

Muestra No.	Resistencia a 28 días	Muestra No.	Resistencia a 28 días	Muestra No.	Resistencia a 28 días
1	237	33	231	65	214
2	206	34	251	66	210
3	175	35	207	67	252
4	229	36	274	68	233
5	271	37	213	69	169
6	264	38	247	70	199
7	232	39	241	71	178
8	245	40	219	72	226
9	235	41	225	73	205
10	301	42	261	74	170
11	281	43	250	75	265
12	230	44	272	76	239
13	194	45	262	77	249
14	188	46	238	78	258
15	236	47	292	79	248
16	217	48	255	80	259
17	200	49	256	81	216
18	257	50	197	82	282
19	246	51	263	83	190
20	212	52	234	84	179
21	291	53	230	85	253
22	240	54	186	86	267
23	244	55	275	87	160
24	198	56	180	88	211
25	224	57	203	89	227
26	202	58	266	90	189
27	215	59	222	91	220
28	209	60	231	92	218
29	208	61	204	93	273
30	196	62	254	94	242
31	221	63	187	95	223
32	243	64	283	96	228

## Conclusiones:

### Nivel de Calidad

De acuerdo con el análisis estadístico realizado, el concreto entregado en la Constructora Y, corresponde al nivel de calidad solicitado Clase A. NOM-C-155

Esto es el requerido para elementos estructurales diseñados por el método de esfuerzos de trabajo, el cual debe cumplir con lo siguiente: .

- a) Se acepta que no más del 20 % del número de pruebas de resistencia a compresión tenga valores inferiores a la resistencia especificada  $f_c$ . Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1 % de los promedios de 7 pruebas consecutivas debe ser inferior a la resistencia especificada. Además, debe cumplirse con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la siguiente tabla:

Tabla 1 (NOM-C-155)

Número de pruebas consecutivas Para concreto grado "A" resistencia a la compresión promedio en (kg/cm <sup>2</sup> )	
1	$f_c - 50$
2	$f_c - 28$
3	$f_c - 17$
4	$f_c - 11$
5	$f_c - 7$
6	$f_c - 4$
7	$f_c$

### 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.

Es probable que una vez analizado el siguiente 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 X ó resistencia promedio.

La S ó desviación estándar.

Que objeto tiene construir el Histograma y que significa.

Es importante analizar que todo varía, nada es constante. No obstante, dentro de la 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. 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 particular Aguila o Sol son el 50 por ciento. De una manera similar un "dado" presenta una probabilidad de  $1/6=16.66$  por ciento de que al ser lanzado caiga una, cualquiera de sus caras, de antemano escogida.

Por supuesto que lo anteriormente anotado no quiere decir que al realizar el experimento, los eventos se presentarán uno tras otro en riguroso orden, en otras palabras, que si al lanzar en primera instancia una moneda al aire y haber obtenido Sol, al siguiente lanzamiento fatal y necesariamente obtengamos Aguila, ó que si en el primer tiro de un dado 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 cuentan 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.

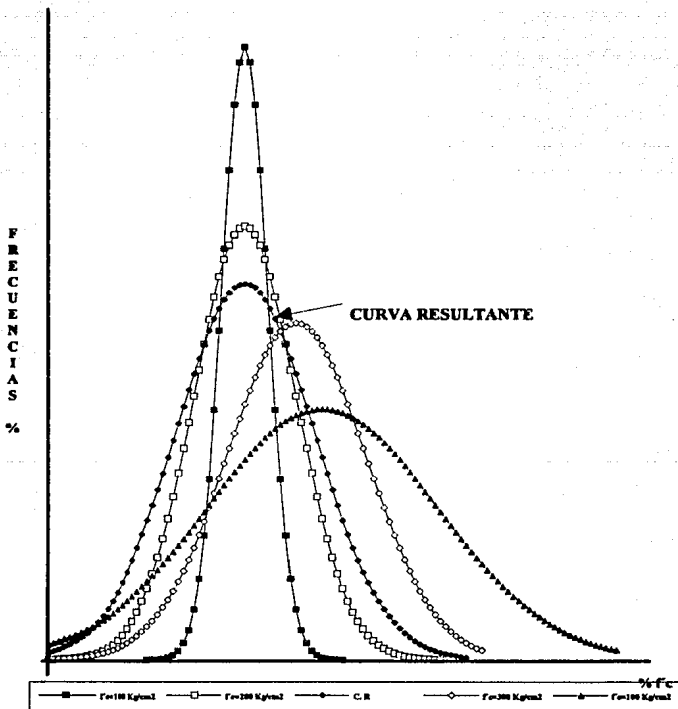
Esto explica el porqué a fin de cuentas el Casino gana, ya que como se sabe lo que se paga cuando se gana es menos que la probabilidad que se tiene de ganar, así mismo al dueño del Casino no le importa que día del mes ó que mes del año va a perder, sino el resultado global. Para contestar la segunda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

Pues bien, así como se llegó a conocer el comportamiento ó distribución de frecuencias de los juegos de azar, 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 pueden 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 con pluviómetros durante un número importante de años en determinada zona de hidrografía, 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. 1



FIGURA 1



Volviendo a nuestro ejemplo (Concreto suministrado por Concretos "X" en la obra denominada Constructora "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 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 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 resistencia del concreto, se agrupan en intervalos ó rangos de clase, y se determina 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 se aumenta el número de observaciones, manteniendo finitas las frecuencias de las clases, y si se hacen 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 probabilidad 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 pequeña 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 punto 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 cualesquiera 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 graficamos 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.

Se propone el siguiente modelo matemático:

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

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

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<sub>0</sub>) 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:

$$-\alpha \int^{+\alpha} Y_0 e^{-x^2 / 2\sigma^2} = Y_0 \sigma \sqrt{2\pi} \dots\dots (2)$$

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

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

De donde:

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

Substituyendo (4) en (1) resulta:

$$Y = \left(1 / \sigma\sqrt{2\pi}\right) e^{-x^2 / 2\sigma^2} \dots\dots (5)$$

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

$\pi = 3.1416$

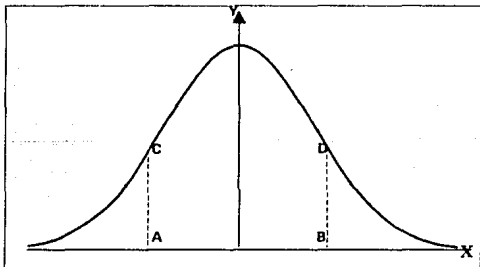
$e = 2.718$  (base de los logaritmos neperianos).

$X$  = 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 cualquiera, 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 siguiente gráfica, comprendida entre  $ABCD$ .



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

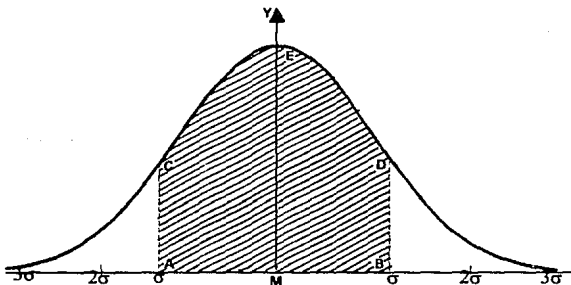
Las tablas de área bajo la curva normal, dan estos valores de áreas situadas a la izquierda de una abscisa o desviación  $x / \sigma$ , medida esta desviación tomando como

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  $x / \sigma$ . A esta área se les llama "Integral de probabilidad".

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

- 1.- Buscamos el área comprendida desde  $-\alpha$  hasta B.
- 2.- A esta área, le restamos la que existe desde  $-\alpha$  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 0.05.



Si suponemos, de la gráfica anterior, que la abscisa o desviación X es igual a  $\sigma$  resulta  $x / \sigma = 1$ , 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, es 0.84134. Ahora bien, como el área a la izquierda de la ordenada en el origen es igual a 0.05; resulta que el área de la figura MEBD es igual a  $0.84134 - 0.05 = 0.34134$ ; 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 desviación cuadrática media, es el índice de variabilidad más usado, su expresión matemática es:

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

### VI.3.- CARTAS DE CONTROL

En la vida real no existe la consistencia. Existe, sin embargo, algo que puede llamarse un sistema de causas constantes. Los resultados producidos por un sistema de causas constantes 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 qué 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 continúa cayendo entre cualquier par de límites dados, hora tras hora, día tras día, siempre y cuando el sistema de causas constantes continúe operando. Es la distribución de los resultados la que permanece constante o estable. Cuando un proceso de manufactura se comporta como un sistema de causas constantes, produciendo resultados de inspección que exhiben estabilidad, se dice que se encuentra bajo Control Estadístico. La gráfica de control nos dirá si un proceso se encuentra bajo control estadístico.

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 procedimientos estadísticos presentados anteriormente en este trabajo.

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 de  $\bar{X}$  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:  $f'c$  (100,150,200,250,300,350,400)  $\text{kg/cm}^2$

Por tipo: Normal o Rápido.

Por tamaño máximo de agregado: 20 mm y 40 mm

Por revenimiento: 10, 14, 14B, 18B cm.

Por clase de concreto: Clase 1 y Clase 2 ( está característica se utiliza unicamente en la zona del D.F.)

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 estos se aparten de lo deseado, ejercer la acción correctiva.
- Obtener la información de sus gráficas en el menor tiempo posible. Es decir, no tener que analizar friamente 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 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 pueda ejercer una acción correctiva oportuna a la vez de establecer correlaciones 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. Por consiguiente, hay que expresar los resultados de resistencia en  $\text{kg/cm}^2$  lo que conduce a construir las gráficas indicadas anteriormente, para cada resistencia.

- Obviamente al tener concretos de resistencia normal y de resistencia rápida, a su vez hay que hacer todas las gráficas mencionadas para estos tipos.

- En el caso del Distrito Federal, donde por necesidades de los constructores de tener un concreto que cumpla con los requisitos anotados en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, en las cuales se clasifica el concreto en Clase 1 y 2. Se tendrán que construir también cartas de control para estas clases de concreto.

- Si el técnico desea controlar por separado cada una de sus plantas, deberá a su vez hacerse para cada una de ellas.

Veamos, cuantas cartas de control resultarían. Suponiendo que en una sola hoja 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.

Es decir se necesitarían 12 hojas por planta o sea 120 hojas 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 hojas. 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 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 pueden sumar estos resultados al conjunto y aprovecharlos para efectuar una estadística global.



Desgraciadamente no se sabe cuando va a suceder ésto, y ya que las cartas de control generalmente se hacen semanales, se desperdicia tanto el trabajo de hacer los rayados como el propio material.

Las cartas de control propuestas, permiten en una sola hoja llevar el control de las diferentes resistencias, 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 desee, 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, sobrediseño y porcentaje 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 estamos controlando. En efecto, si se sabe por ejemplo, que la resistencia se comportará conforme a una curva normal y que su rango de variación será función de la desviación estándar, como parámetro de dispersión correspondiente al grado de control que se este ejerciendo sobre el proceso de producción, y que además variará simétricamente con su media, es sencillo construir una carta de control de medias, ya que bastará, suponiendo que se graficaran 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 superior e inferior, 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 construirán cartas ya sea de desviación estándar, o bien de rangos o subgrupos de determinado número de valores, 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 entre la gráfica de tres días y la de veintiocho existe 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.

Anteriormente se propuso un procedimiento estadístico que permite evaluar en forma parcial y total el nivel de calidad del concreto producido a nivel industria. 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 permita 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 distorsionados a la vez que demasiado optimistas, ya que al seguir este tratamiento, errores compensan 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 comportamientos entre diferentes periodos 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 periodos 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  $100 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $350 \text{ kg/cm}^2$ , sensiblemente es del mismo orden. En efecto si se cuenta con suficientes resultados de ensayos de cilindros obtenidos durante un cierto periodo 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  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ ,  $150$ , 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 en otra forma, el valor del rango en el conjunto de los resultados del concreto diseñado para  $f'c = 100$  o  $150 \text{ kg/cm}^2$ , será del mismo orden que para el conjunto de valores de  $f'c = 200$  o  $350 \text{ kg/cm}^2$ .

En segundo término, que el sobrediseño en resistencia requerido para lograr un determinado nivel de calidad, será el mismo en  $\text{kg/cm}^2$  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 de diferentes  $f'c$  no será 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 medidas 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 anterior, 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 a 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.

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. Enseguida 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 grafican en las cartas de medias. En lo que respecta a las cartas 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.

#### **Como construir estas cartas de 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, será 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 vayan 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  $R$ .

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 deben tener de cada uno de estos valores los correspondientes a todas las edades que se vayan a controlar; lo común cuando se utiliza curado estándar, es 3, 7 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, Edad Especificada) de cada  $f'c$  su media y su desviación estándar, esto en  $kg/cm^2$ .

3.- Una vez hecho esto, se establecerá la proporción resultante (tanto de  $\bar{X}$  como de  $R$ ) 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  $kg/cm^2$ , 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 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 da una buena probabilidad del orden de un 95 por ciento. Para las cartas de rangos  $R$ , 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  $R$  y los límites superior e inferior. Esto se encuentra en tablas, por ejemplo, para subgrupos de cinco elementos el valor de la constante  $d_2$  de 2.326 y la expresión usada  $d_2 = R/\sigma'$ , entendiéndose por  $\sigma'$  el valor estimado de la desviación estándar del universo.

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

El límite inferior para subgrupos de 5 elementos es 0

El límite superior es  $D_4R$  para  $n = 5$ ,  $D_4 = 2.11$

Para ilustrar un poco más este punto, se pondrá el siguiente ejemplo: supóngase que se analiza el comportamiento de un concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  normal, se contaría por consiguiente con 3 grupos constituidos por 25 valores 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:

Edad en días	$f'c$ en $\text{kg/cm}^2$	R en $\text{kg/cm}^2$	% $f'c$	% R
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  $30 \text{ kg/cm}^2$ , por consiguiente la  $f'c$  o resistencia requerida para un concreto clase "A" NOM-C-155, será:

$$f'c_r = f'c + t$$

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  $f'c$ )

$$f'c_r = 200 + (30 \times 0.846)$$

$$f'c_r = 200 + 25$$

$$f'c_r = 225$$

De acuerdo a estos parámetros,  $X = 225 \text{ kg/cm}^2$  y  $\sigma = 30 \text{ kg/cm}^2$ .

La media de  $X$  y  $R$  a 3, 7 y 28 días, quedarán como se indica a continuación:

Edad en días	$f'c$ en $\text{kg/cm}^2$	R en $\text{kg/cm}^2$	% $f'c$	% R
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  $X$  y para fabricar las cartas de  $R$ , es claro que a la edad especificada será  $\sigma = 30 \text{ kg/cm}^2$  y a edades de 3 y 7 días se encontrará que en promedio para los 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  $X$ , estarán a una distancia de  $\pm 60 \text{ kg/cm}^2$  ( $\pm 2\sigma$  para la edad especificada), y de  $\pm 48 \text{ kg/cm}^2$  para 3 y 7 días.

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

Se considera importante anotar que en el caso de las cartas de  $R$ , 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  $3\sigma$ .

5.- En este punto, finalmente se dirá como obtener los valores absolutos, que serán los que se grafiquen en las cartas de control, que ya han sido elaboradas, lo cual es muy sencillo. En el ejemplo que se ilustró, se encontrarán las resistencias promedio que en  $\text{kg/cm}^2$  debían haber presentado las distribuciones de frecuencias de los valores 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:  $fcr = 225 \text{ kg/cm}^2$ , 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  $f'c = 100, 150, 200, 250, 300$  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  $X$ , las cuales tendrán como media " cero ", siendo hacia arriba la escala positiva y hacia abajo negativa.

6.- En este punto, únicamente se comentarán 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.

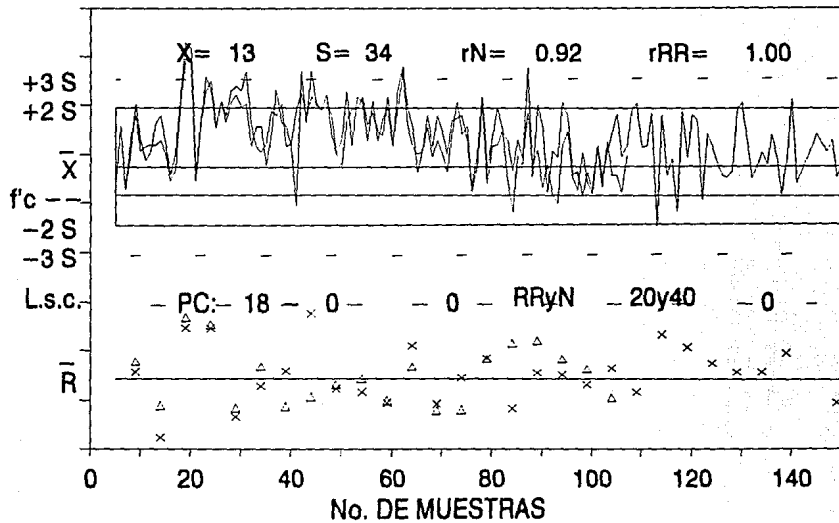
- Puede considerarse que el comportamiento de los concretos de resistencia rápida, es el equivalente a los normales de una resistencia inmediata superior, es decir, a un concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  resistencia rápida, se le puede dar el tratamiento de un concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  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 decreciente hasta llegar a la  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ , que corresponde a la letra "F", las cuales se ponen junto al punto gráfico.
- Otra práctica que se sigue, es que en un sólo pliego se hacen todas las cartas de control X y 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 carta de control elaborada siguiendo este sistema, en las que se han graficado datos reales para control en un lapso, determinado de un proceso de producción de concreto en una compañía premezcladora.

# CARTAS DE PROMEDIOS Y RANGOS



— REAL    — PRONOSTICO



## VI.4.- 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 ó 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 ésto 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 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, ha alcanzado la madurez requerida, proporcionando una completa seguridad al trabajador.

La forma de logra ésto, 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.

### VI.4.1.- 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 esto debe hacerse, las dimensiones de los núcleos, la forma de ensaye, etc. Por otra parte en ACI-318-71 se marca un criterio de evaluación de los resultados obtenidos en los corazones, para aceptación del concreto NOM-C-169. 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.

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 comúnmente empleada, siempre que se desea verificar la calidad o resistencia del concreto endurecido.

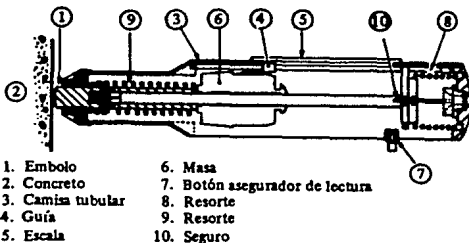
**Pruebas de penetración y rebote.-** Existen al respecto dos métodos, el de penetración y el de rebote, ambas miden la dureza en la superficie del concreto, propiedad que se relaciona con la resistencia a la compresión del mismo.

De estos procedimientos, el segundo es el más común, se emplea el martillo Schmidt, mejor conocido con el nombre de esclerómetro NOM-C-192. 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 de 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 del 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: 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, las cuales son 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 lo tanto, no deberán considerarse. El grado de aspereza de la superficie, la inercia y/o volumen de los elementos estructurales.



**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 se 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 resistencia a la 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, este equipo se utiliza con 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 la resistencia relativa del concreto, en diferentes elementos estructurales.

#### VI.4.2.- 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 llamarseles "Pruebas Dinámicas" se basan en las propiedades vibratorias del concreto para, a partir de ellas, estimar la calidad del mismo.

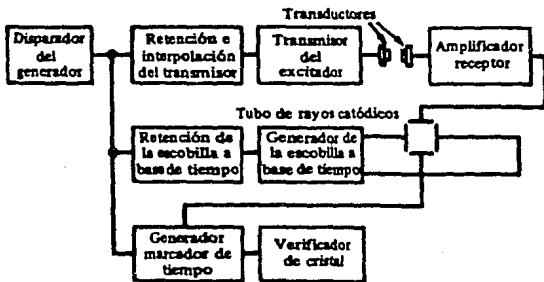
Mediante el estudio de la propagación de vibraciones a través de un material, es posible determinar su módulo de elasticidad dinámico, el cual a su vez puede relacionarse con otras propiedades del mismo.

Existen dos componentes 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 ultrasónico.- permite medir el tiempo que tarda en viajar una onda de sonido generada por un sólo impacto.



Esquema del aparato de pulso ultrasónico.

3.- Método de velocidad del impulso.- este método es similar al anterior, ya que su diferencia consiste en que las ondas de sonido son generadas electrónicamente.

Es importante notar, que la confianza 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 acelerante. 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 preforzado y prefabricado, donde el control de calidad es generalmente mejor que en 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, está puede por si misma emplearse como un criterio de aceptación.

# **VII.- EVALUACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPORTES**

## **VII.- EVALUACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS Y REPORTES**

En este capítulo 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 de la planta dosificadora.

Este nivel de calidad requerido se traduce en índices de dispersión y sobrediseño de resistencias principalmente. La dispersión de valores de resistencia en la producción de concreto a nivel industria, es función de todas y cada una 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 la edad especificada, siempre y cuando estos valores se procesen adecuadamente.

Por lo que los reportes presentados en este capítulo se enfocan principalmente a índices de dispersión y sobrediseño, parámetros que para una planta concretera son muy importantes de controlar, ya que logrando su punto óptimo, se traduce en consumos menores de cemento y por lo tanto en mayor optimización de las materias primas.

En la actualidad se cuenta con programas diseñados por las propias empresas, tanto concreteras como de asesoría, los cuales elaboran una serie de cartas de control y curvas de distribución en muy corto tiempo, logrando la optimización del tiempo en la elaboración de dichas cartas y con ello realizar las correcciones necesarias lo más pronto posible.

### **VII.1.- DIFERENTES REPORTES QUE SE EMITEN**

A continuación se analiza un procedimiento estadístico, el cual consiste en expresar en porcentaje los resultados del ensaye en cilindros de diferentes resistencias.

Para poder entender la forma de evaluación de reportes, proponemos el siguiente ejemplo, se elaborará 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:



No. Muestras	f'c	TIPO	T.M.A.	Rev.
96	100	N	40	10
96	200	N	20	14B
98	300	RR	20	10
106	400	N	20	10

Los datos a analizar se encuentran en la tabla de datos que se presentan al final del capítulo.

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

**TABLA 1**

f'c	TIPO	T.M.A.	Rev.	No.M	X (kg/cm)	X (%)	S (kg/cm <sup>2</sup> )	S (%)
100	N	40	10	96	130	130	31	31
200	N	20	14B	96	230	115	31	15
300	RR	20	10	98	330	110	33	10
400	N	20	10	106	430	107.5	37	7.5

De los valores de la tabla 1 se observa que la dispersión, es del mismo orden, lo cual no indica que fué consecuencia de un adecuado control implantado de manera similar en toda la producción, en tanto que se logra 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, concreto grado de calidad "A" NOM-C-155.

Como se requiere 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 obtendremos la X, la S y el C.V.

	N	X (kg/cm <sup>2</sup> )	X (%)	S (kg/cm <sup>2</sup> )	S (%)
Global	398	280	115	56	20

$$C.V. = S/X = (56 \text{ kg/cm}^2 / 280 \text{ kg/cm}^2) 100 = 20 \%$$

Analizando estos resultados:

- 1.- Se obtiene un Coeficiente de Variación del 20 %, el cual según la NOM-C-155 es malo.
- 2.- X = 115 % por lo tanto al obtener el porcentaje de valores de resistencia menores a f'c, como función de C.V. y X, resulta mayor del 20 %.

3.- Al analizar la  $S = 20$  por ciento en  $\text{Kg/cm}^2$ , ya que es porcentaje de una distribución muestral de  $X = 280 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene  $S = 56 \text{ kg/cm}^2$  mucho mayor que lo real, la cual es del orden de  $33 \text{ kg/cm}^2$ .

En la tabla 1 tenemos los resultados de las cuatro distribuciones expresadas en porcentajes, lo cual al graficarlas presenta, en el eje de las abscisas, defasadas 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 figura 1 y los parámetros de esta nueva curva obtenidos, son inexactos.

El método más práctico y real utilizado en una compañía premezcladora en la actualidad, se presenta a continuación, ya no se recurre a expresar los resultados de las diferentes resistencias en porcentaje, sino de representar 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 X.

Para poder conjugar todos los resultados de resistencia, únicamente se requiere de una traslación de ejes de las diferentes distribuciones a un mismo punto, lo que permite obtener una curva resultante para la cual el modelo de la curva normal es válido, y en la que se aportan 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 valores de esta empresa y a su vez su control. Lo anterior se muestra en la figura 2.

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.

Esta se obtiene en un porcentaje global, lo cual tiende a compensar en un momento dado inadecuados sobrediseños, en función de su volumen producido, lo cual da realmente la cantidad en  $\text{kg/cm}^2$  que se dió como sobrediseño, ya no en la distribución muestral sino en toda la producción, y como consecuencia lógica se obtiene cuantas revoluturas de todo el concreto producido fueron menores a  $f'c$ .

Los reportes más comunmente elaborados para analizar sobrediseño y dispersión, los clasificaremos de la siguiente forma, para despues hacer referencia de ellos.

Informe 1 : proporcionado por Concretos Apasco S. A. de C. V.

Informe 2 y 3 : proporcionados por Consultores de la Industria del Concreto..

Estos informes se compararan en el siguiente punto de este mismo capitulo.

FIGURA 2

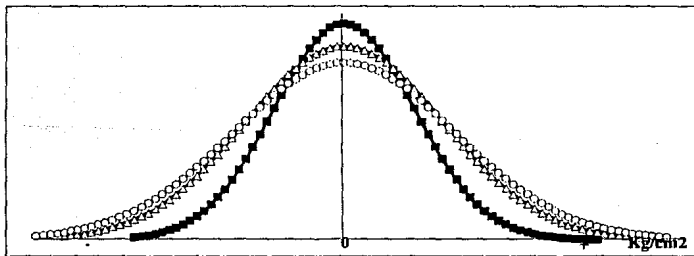
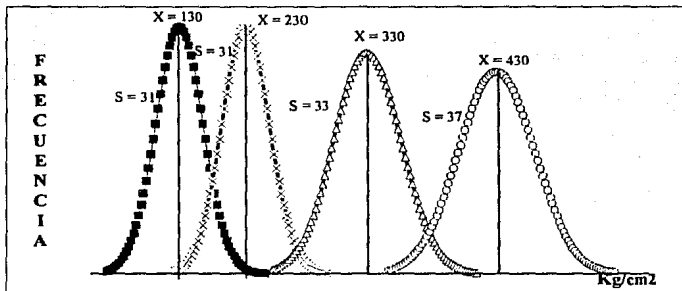


TABLA DE DATOS

f'c = 100	
60	131
69	131
70	132
78	133
79	134
80	135
86	136
87	137
88	138
89	139
90	140
94	141
95	142
96	143
97	144
98	145
99	146
100	147
102	148
103	149
104	150
105	151
106	152
107	153
108	154
109	155
110	156
111	157
112	158
113	159
114	161
115	162
116	163
117	164
118	165
119	166
120	167
121	171
122	172
123	173
124	174
125	175
126	181
127	182
128	183
129	191
130	192
130	201

f'c = 200	
160	231
169	231
170	232
178	233
179	234
180	235
186	236
187	237
188	238
189	239
190	240
194	241
195	242
196	243
197	244
198	245
199	246
200	247
202	248
203	249
204	250
205	251
206	252
207	253
208	254
209	255
210	256
211	257
212	258
213	259
214	261
215	262
216	263
217	264
218	265
219	266
220	267
221	271
222	272
223	273
224	274
225	275
226	281
227	282
228	283
229	291
230	292
230	301

f'c = 300		
250	330	401
260	331	411
269	331	
270	332	
278	333	
279	334	
280	335	
286	336	
287	337	
288	338	
289	339	
290	340	
294	341	
295	342	
296	343	
297	344	
298	345	
299	346	
300	347	
302	348	
303	349	
304	350	
305	351	
306	352	
307	353	
308	354	
309	355	
310	356	
311	357	
312	358	
313	359	
314	361	
315	362	
316	363	
317	364	
318	365	
319	366	
320	367	
321	371	
322	372	
323	373	
324	374	
325	315	
326	381	
327	382	
328	383	
329	391	
330	392	

f'c = 400		
340	428	481
350	429	482
358	430	483
359	430	491
360	430	492
369	431	501
370	431	502
378	431	503
379	431	511
380	432	521
386	433	
387	434	
388	435	
389	436	
390	438	
394	439	
395	440	
396	441	
397	442	
398	443	
399	444	
400	445	
402	446	
403	447	
404	448	
405	449	
406	450	
407	451	
408	452	
409	453	
410	454	
411	455	
412	456	
413	457	
414	458	
415	459	
416	461	
417	461	
418	462	
419	463	
420	464	
421	465	
421	466	
422	471	
423	472	
424	473	
425	474	
426	475	

## VII.2.- COMPARACION DE DOS DIFERENTES FORMAS DE INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

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 revoladora, con bombas que trasportan el concreto a longitudes verticales mayores de 100 metros, horizontales superiores a 300 metros, y que además permiten a los contratistas colocar grandes volúmenes de concreto. Puede suceder que se termine la construcción de alguna estructura antes de ensayar cilindros de concreto a 28 días por ello es importante contar con un control adecuado .

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

Del informe I se tiene que:

La grafica fue elaborada para clase de concreto 2, grado de calidad "A", resistencias normales y rápidas, y considerando para efectuar el pronóstico los datos de 7 días. En donde:

X = sobrediseño de los últimos 20 valores.

STD = desviación estandar de los últimos 20 valores.

rN = coeficiente de correlación de los resultados de los ensayos a compresión de cilindros a 28 días.

rR = coeficiente de correlación de los resultados de los ensayos a compresión de cilindros a 14 días.

De acuerdo con la NOM-C-155 para concretos de grado de calidad "A" se debe de cumplir con lo siguiente:

a) Se acepta que no más del 20 % del número de pruebas de resistencia a compresión tengan valores inferior a la resistencia especificada f'c. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) No más del 1 % de los promedios de 7 pruebas de resistencia a compresión consecutiva debe ser inferior a la resistencia especificada. Además debe cumplir con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la tabla I.

Tabla 1 (NOM-C-155)

Número de pruebas consecutivas Para concreto grado "A" resistencia a la compresión promedio en (kg/cm <sup>2</sup> )	
1	$f_c - 50$
2	$f_c - 28$
3	$f_c - 17$
4	$f_c - 11$
5	$f_c - 7$
6	$f_c - 4$
7	$f_c$

Para que una planta elimine los resultados bajos, es conveniente tener como valor máximo para operación de producción de concreto, una desviación estándar (S) de 35 Kg/cm<sup>2</sup> en el caso de resistencia a compresión, a medida que la desviación estándar sea menor, logrará con economía reducir la probabilidad de resultados bajos.

Por lo que se concluye que la planta analizada en el informe 1, cumple con lo establecido en la NOM-C-155 y además la presentación grafica de estos parámetros es fácil de analizar y poder detectar algunas variaciones.

El informe 2, es muy similar al anterior, el cual tiene también una carta de control, con las mismas características que la del informe 1, únicamente con la variación de que en esta se tiene el dato en porcentaje de los valores abajo de  $f_c$ , el cual es un parámetro muy importante.

Esta misma empresa nos proporcionó un tercer informe, el cual es una curva de frecuencias en la cual se graficaron los datos reales de un periodo determinado, se observa también una campana de distribución normal, el histograma de los datos analizados y su campana. Esta información es importante, pero tiene una desventaja si se utilizara, y es que se conocen los resultados del mes anterior.

Por lo que consideramos que tanto para los productores de concreto, como para compradores resulta más práctica una carta de control, que un curva de frecuencias. Ya que en la carta de control se tienen graficados todos los valores que ya fueron ensayados a 7 días.

INFORME 1

CONCRETOS APASCO, S.A. DE C.V.

PC-31 COATZACOALCOS

$X = 36$   $STD = 21$   $rN = 0.87$   $rRR = 0.76$

SD

$f_c$

$f_c - 50$

Clase 2 Pronóstico 7 Dias N y R

GRAFICA DE 7 PRUEBAS CONSECUTIVAS

$f_c$

No. de Muestras

0

50

100

150

200

— Real

— Pronóstico

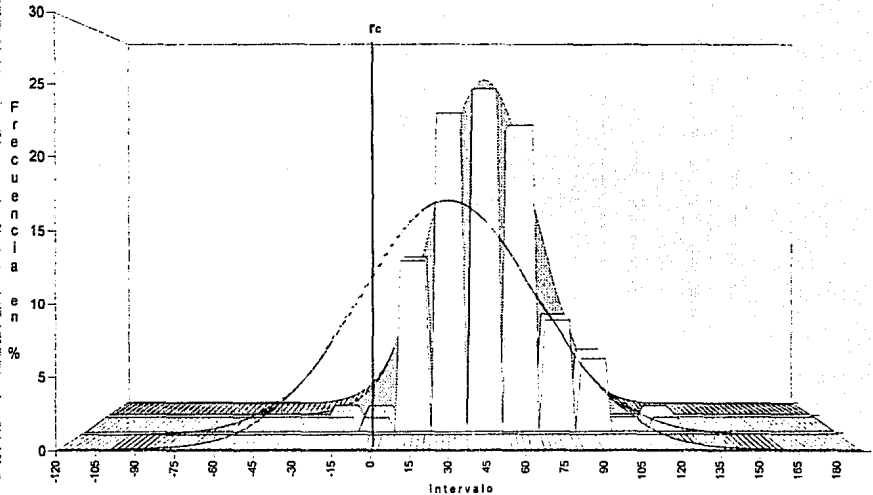
## INFORME 2

### Distribución de Frecuencias -EMPRESA "x"- Planta "y"

REAL Clase 2 S.diseño= 48 kg/cm<sup>2</sup> Std= 23 kg/cm<sup>2</sup> %< f'c= 2 n= 111

Periodo : 01 Abr al 26 May de 1993

Campana Norma Histograma Real Campana Real

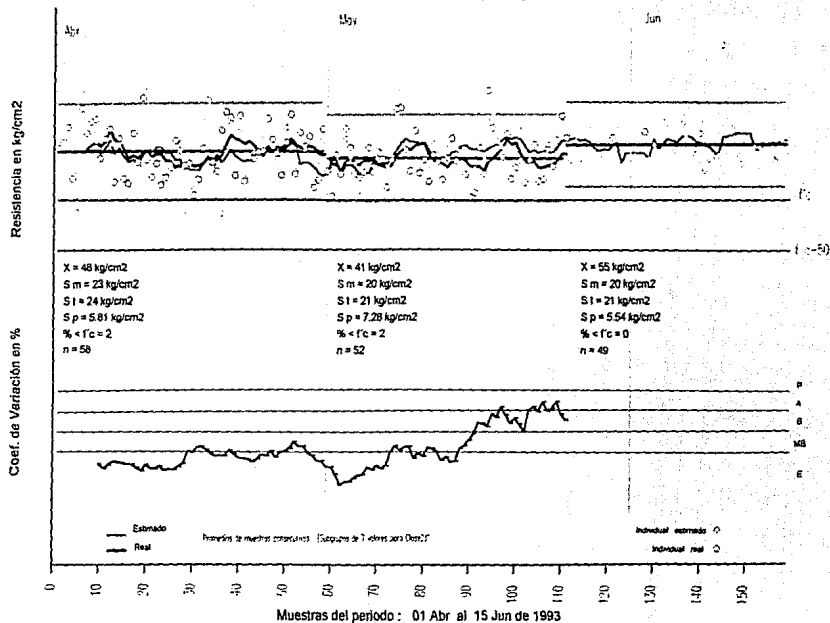




INFORME 3

CARTA DE CONTROL -EMPRESA "x"- Planta "y"

f<sub>c</sub>: Global Clase: 2 Tipo: R y N



# **VIII.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

## VIII.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

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

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 aditivo, las que de ser importantes harán inservible a este material con sus obvias consecuencias.

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.

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 porpuesto. 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.

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

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 industria. 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. Estas cartas las puede generar el concretero o apoyarse en los laboratorios de las plantas de cemento.

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.

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.

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 la mezcla de concreto fresco.

En el caso del cemento, se tienen dos alternativas para recibirlo, a granel o en sacos de 50 kgs, dependiendo la opción que se tome, es importante conocer las principales prácticas que deben seguirse para cada caso en lo referente a su almacenamiento y manejo.

Obtener los agregados en condiciones adecuadas para su utilización siempre requieren de un proceso de acondicionamiento y manejo cuya amplitud dependen de la procedencia de los materiales y los volúmenes manejados. Cuando los agregados son de origen natural, el proceso consiste en la exploración del banco, clasificación y transporte. Si los agregados son manufacturados, el proceso se vuelve más complejo teniendo trituración o molienda lavada, etc. Esto es importante por la forma de partículas que se van a obtener, empleando diferentes equipos durante las distintas etapas del proceso de producción. Por otra parte, debe garantizarse que los agregados lleguen al equipo dosificador como salen del equipo de clasificador.

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 estas 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.

Para los aditivos deben extremarse las precauciones de almacenamiento, transporte, descarga, identificación, mantenimiento en condiciones óptimas de calidad y precisión de los equipos dosificadores. Una planta premezcladora puede manejar un gran número de aditivos, algunas 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 del cemento, en tanto que los acelerantes a centésimas, por lo que al confundirlos en su empleo, los resultados pueden ser totalmente erráticas.

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.

Los especímenes de prueba, únicamente serán representativos de la calidad del concreto si se siguen los procedimientos de muestreo, elaboración, curado y ensayo

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.

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 capítulo VII.

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 capítulo VII, se propone un diseño de cartas de control para medias y rangos, que permite agrupar todos los valores de resistencia obtenidos sin recurrir a 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 redundará 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, éstas sean semejantes entre sí, con los de los demás conjuntos de diferentes características.

En el capítulo VIII se muestra un comportamiento 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. Así mismo, 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 la producción.

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.

El periodo 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 de resistencia, el concreto es sometido a temperaturas altas para acelerar las reacciones químicas involucradas en la hidratación y endurecimiento.

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.

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. De el primer grupo se emplea principalmente la prueba de corazones, de penetración y de extracción. del segundo grupo se utilizan procedimientos que no afectan a 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 radiactivos.

Sin duda alguna la fabricación de concreto en las plantas premezcladoras debe cumplir con las normas y especificaciones mínimas emitidas por la Dirección General de Normas, asimismo deben ser vigilados y supervisados los aspectos más generales estipulados en este mismo trabajo. Deben tenerse presente que en algunos casos estas normas no las cumplen los materiales disponibles en algunas regiones de la República Mexicana, por lo que los profesionales en la producción del concreto premezclado deben tener el criterio y la experiencia suficiente para librar dicha clase de obstáculos y proceder a la producción de concreto con los materiales disponibles del lugar.

Algunas personas creen que hacer un control es simplemente contratar a un laboratorio que tome cilindros, los ensaye y reporte los resultados o que con la misma gente en las obras haga el proceso y simplemente se observen los resultados; si estos son altos olvidarse de ellos y si son bajos alarmarse inmediatamente, tratando de recordar donde fue colocado ese concreto y de esa forma determinar si se trata de una zona importante y en tal caso proceder a la extracción de corazones para conocer su resistencia.

Con relación a las pruebas del concreto, siempre que sea práctico se deben hacer conclusiones sobre la resistencia promedio del concreto derivándose esto de un conjunto de ensayos a partir del cual se pueda estimar en forma más precisa las características y uniformidad del concreto. Si se confía demasiado en los resultados de unos cuantos ensayos, las conclusiones que se alcancen pueden ser erróneas.

Es un error concluir que la resistencia de una estructura está en peligro cuando sólo un ensayo no cumple con los requisitos de resistencia especificada; como se indicó en su

oportunidad, son inevitables las variaciones casuales y las fallas ocasionales en el cumplimiento de los requisitos de resistencia. Los requisitos de resistencia inflexibles no son realistas y tanto la formulación de especificaciones como la interpretación de los resultados deben basarse en la trayectoria de los resultados más que en los resultados individuales de resistencia; es por esta razón que los conceptos estadísticos indican y tienen tanto valor potencial en el control del concreto.

Es importante definir antes de empezar una obra, cuales son las especificaciones de calidad, determinar como se controlará su cumplimiento y analizar el costo que esto implica, posteriormente seleccionar al personal que realizará el muestreo, el ensaye e interpretación de resultados. En general es aconsejable hacer un número suficiente de ensayos de tal forma que cada tipo diferente de concreto colocado durante cada día este representado por lo menos por dos especímenes cilíndricos estándar, para ensayarse a 3, 7, 14 o 28 días dependiendo del tipo de concreto.

Estos especímenes para ensaye de compresión deben tomarse durante la colocación del concreto, y según el caso deben hacerse especímenes compañeros para lograr mayor precisión y para establecer responsabilidades entre productores y clientes.

Es por ello que la intención de este trabajo tiene como finalidad hacer extensiva la importancia que se le debe dar al control de calidad no solamente del concreto premezclado, sino de todos los materiales para la elaboración del mismo, con la ayuda y participación de responsables de planta, muestreadores, laboratoristas, constructores y productores de las materiales constitutivos del concreto (cemento, agregado fino - arena, agregado grueso - grava y aditivos) todo ello para el logro de una mejoría en la calidad del concreto premezclado.

Por lo tanto como conclusión final, se recomendaría ampliamente que cada uno de los profesionales que participan directamente con el concreto premezclado, productores y consumidores conozcan detalladamente las normas y especificaciones de construcción estipuladas para este producto. Ya que es muy notorio observar en las obras que un residente o supervisor de obra solicite el rechazo de una olla de concreto premezclado por la sencilla razón de no haber dado el revenimiento especificado al hacer una sola prueba; ejemplos tan sencillos como este solo indican una falta de conocimiento de las normas que han sido revisadas y elaboradas por organismos e instituciones a nivel nacional o internacional.

# BIBLIOGRAFIA



## BIBLIOGRAFIA

### **Tecnología del Concreto**

(Tomo I y II) Neville, A. M.

I.M.C.Y.C.

### **Manual del Control SRH**

(1970) Tomo I y II.

### **Cartilla del Concreto**

F. R. Mc Millan y Lewis H. Tuthill

IMCYC (1985)

### **Estadística**

Murray R Spiegel

Mc Graw-Hil (1973)

### **Normas Oficiales Mexicanas**

NOM-C-1 Especificaciones para Cemento Portland.

NOM-C-49 Método de prueba para la determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el tamiz No. 130M

NOM-C-61 Determinación de la resistencia a la compresión de los cementos hidráulicos.

NOM-C-77 Agregados para concreto - Análisis granulométricos.

NOM-C-83 Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

NOM-C-111 Anteproyecto. Agregados para concreto. Especificaciones.

NOM-C-128 Anteproyecto. Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto a compresión.

NOM-C-155 Especificaciones para concreto hidráulico.

NOM-C-156 Determinación del revenimiento en el concreto fresco.

NOM-C-160 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.

**NOM-C-161 Muestreo del concreto fresco.**

**NOM-C-169 Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido.**

**NOM-C-192 Determinación del índice de rebote en concreto.**

**Información técnica y estadística**  
**Concretos Apasco (1990-1993)**