Es muy importante que después de el transporte y el vaciado del concreto se evite una reducción no deseada en el contenido de humedad de la pasta que ocasione una disminución de hidratación. La pérdida de humedad en esta etapa se manifiesta en la formación de grietas superficiales debido a la contracción por secado. Para evitar esta pérdida de humedad se recomienda en climas cálidos, cubrir el concreto con telas húmedas de estopa, algodón o cabuya.

La hidratación normal del cemento se da así:

a) permanente existencia de agua en cantidad suficiente;

b) conservar la temperatura entre 10 y 40ºC.

Para hacer un buen curado, existen infinidad de medios, y es allí donde interviene el ingenio del constructor.

Algunos de los procedimientos son:

Curado con Agua	Inundación o inmersión Riego o aspersión Cubrir con materiales saturados como: Telas, costales, tierra, algodón, aserrín, viruta, arena, papel, etc.
Materiales Sellantes	Son hojas o membranas sintéticas colocadas sobre el concreto, su utilización es económica, por su menor costo y facilidad de mantener la humedad. Algunos de ellos son: telas plásticas, papel impermeable, compuestos químicos que forman una membrana impermeable de curado.

El tiempo de curado requerido depende de las características del medio y de la dosificación; éste tiempo debe ser mínimo de siete días para el cemento Portland tipo 1. Para obtener un máximo de rendimiento se recomienda mantener el curado hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia del 70% de la especificada.

Desencofrado

Antes de quitar la formaleta se debe verificar, mediante el ensayo de cilindros testigos, que el concreto haya alcanzado la resistencia para soportar la carga correspondiente a la etapa de la construcción en que se encuentra.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

El concreto es una mezcla endurecida de materiales heterogéneos que está sujeta a la acción de muchas variables, dependientes de los materiales que lo constituyen y de los métodos seguidos durante los procesos de diseño: dosificación, mezclado, transporte, colocación, compactación, acabado, y curado.

Sin embargo, las propiedades y características del concreto en estado plástico como endurecido, son predecibles a pesar de su heterogeneidad, mediante una adecuada selección y combinación de sus componentes y de un buen control de calidad.

Un concreto será de buena calidad cuando cumpla las especificaciones para las cuales fue diseñado. Esto se logra si las técnicas y los materiales empleados para producirlo son de buena calidad.

Una calidad deficiente en el concreto que se utiliza representa un riesgo para la estabilidad de la obra.

El control de calidad del concreto al igual que el de cualquier producto se basa en tres actividades:

- control de materias primas;
- supervisión del proceso completo de fabricación;
- verificación total del producto terminado.

En el concreto se requiere de un tiempo después de concluido el proceso para que el producto pueda considerarse terminado, lo que es un inconveniente porque en el lapso de espera correspondiente al período de endurecimiento y adquisición de propiedades, la construcción continua y los datos que se obtienen de la calidad del concreto son extemporáneos para su oportuna aplicación.

Lo anterior, indica que el control de calidad del concreto fresco cobra cada día mas aplicación, porque se puede mejorar la uniformidad del concreto en su elaboración, verificando y ajustando las proporciones de sus componentes.

Las pruebas que mas se utilizan en el control de calidad del concreto fresco son: asentamiento, peso unitario y contenido de aire.

En el concreto endurecido la resistencia a la compresión es el parámetro principal para controlar la calidad del concreto, pero existen otros parámetros igualmente válidos, como: la resistencia a la flexión y la relación agua-cemento.

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto puesto en obra, se elaboran cilindros testigos según la Norma NTC No.550, cilindros se elaboran tomando el concreto fresco que se va a vaciar en diferentes partes de la obra y se ensayan a diferentes edades según el uso determinado que se les quiera dar.

La toma de cilindros testigos y la posterior determinación de su resistencia persigue algunos de los siguientes fines:

1. comprobar la dosificación de la mezcla diseñada, para saber si cumple con la resistencia especificada.
2. controlar la calidad:
   a) ensayos de aceptación del concreto.
   b) control interno de producción.

Los ensayos de aceptación son realizados por la interventoría; estos cilindros son elaborados, curados y ensayados bajo condiciones normales de laboratorio sumergidos en agua con cal y ensayados a los 28 días.

Los cilindros para el control interno de producción son ensayados a edades tempranas con curado acelerado de 24 horas según Norma NTC No.1513, o a la edad de siete días curados en las mismas condiciones del concreto de la estructura.

Los cilindros para el control interno de producción persiguen dos objetivos:

1. determinar a edades tempranas la resistencia del concreto puesto en obra;
2. determinar el tiempo, necesario para quitar los encofrados o la formaleta, o ponerse en servicio la estructura.

Existe gran variación en el resultado de las resistencias de los cilindros testigos, lo que obedece a factores como: la variación en las características del concreto producido, que puede ser debida a los cambios en los agregados, o en la dosificación, etc, o a variaciones inherentes a la prueba de los cilindros. Se ha llegado a establecer que existen 60 variables que pueden incidir en la resistencia de un cilindro de concreto, estos se indican a continuación en la tabla No.23.

TABLA No.23. CAUSAS DE ERROR EN LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYO DE PROBETAS MOLDEADAS DE HORMIGÓN

FASE	CAUSA	EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA	
		AUMENTA	DISMINUYE
AMASADO	1. Hormigonera o camión hormigonera que no amase uniformemente, bien por defecto del equipo o por carga excesiva.	X	X
TOMA DE MUESTRA	2. Toma realizada al principio o final de la descarga, en período de segregación de vertido.		X
	3. Muestra no realizada por mezcla de las distintas porciones previstas.	X	X
	4. Muestra vertida en recipiente con agua o sucio, o tomada bajo lluvia fuerte.		X
	5. Muestra vertida en recipiente excesivamente caliente.	X	
	6. Reamasado escaso o excesivo de la muestra.	X	
	7. Tiempo excesivo (más de 15 min) empleado en la preparación de la muestra.		X
FABRICACIÓN	8. Empleo de moldes de diámetro inferior al triple del tamaño máximo del árido.		X
	9. Moldes no herméticos		X
	10. Moldes manchados con sustancias perjudiciales		X
	11. No seguir el procedimiento inadecuado de tipo o duración de la compactación, para la consistencia y el tipo árido del hormigón muestreado.	X	X
	12.Empleo de un procedimiento inadecuado de tipo o duración de la compactación, para la consistencia o el tipo árido del hormigón muestreado	X	X
	13. Enrase deficiente de la última tongada y disposición de una delgada capa de enrase de hormigón débilmente compactado.		X
	14. Empleo de barra de picado con la punta sin redondear.	X	X
	15. Tiempo excesivo de fabricación (más de 15 min)		X

FASE	CAUSA	EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA	
		AUMENTA	DISMINUYE
FABRICACIÓN	16. Fabricación bajo lluvia		X
	17. No impedir la evaporación durante el tiempo que transcurre entre la fabricación de las probetas y su traslado a la cámara estándar del laboratorio.		X
	18. Mover o golpear los moldes durante las primeras 24 horas a partir de la fabricación de las probetas.		X
	19. Temperatura inadecuada durante el tiempo que transcurre entre la fabricación de las probetas y su traslado a la cámara estándar del laboratorio.	X	X
	20. Desmoldeo prematuro de las probetas.		X
TRANSPORE AL LABORATORIO	21. Transporte a corta edad	X	X
	22. Equivocación en la redacción de la etiqueta	X	X
	23. Desecación durante el transporte		X
	24. Temperaturas extremas durante el transporte	X	X
	25. Daños por manejo inadecuado		X
CURADO EN CÁMARA	26. Error en el marcado de probetas	X	X
	27. Cámara fuera de límites de temperatura (20ºC+2ºC)	X	X
	28. Cámara por debajo del límite mínimo de humedad relativa (95%)	X	X
	29. Apoyo por alguna cara en superficies que impidan el humedecimiento de la probeta		X
EXTRACCIÓN DE LA CÁMARA	30. Extracción más de 3 horas antes de la rotura	X	
	31. Conservación en ambiente excesivamente seco hasta el momento del ensayo	X	
REFRENTADO	32. No refrentar		X
	33. Refrentado con material inadecuado	X	X
	34. Refrentado con proceso inadecuado		X
	35. Planeidad del refrentado fuera de tolerancias		X
	36. Ángulo de cualquier cara con el eje de la probeta fuera de tolerancia		X
	37. Diámetro de la probeta fuera de tolerancias	X	X
ENSAYO	38. Error en la fecha de ensayo	X	X
	39. Ensayo con el refrenado insuficientemente endurecido		X
	40. Prensa descorregida	X	X
	41. Interposición de cuerpos extraños entre los platos de la prensa y la probeta		X
	42. Platos dañados		X
	43. Defectuoso centrado de la probeta en la prensa		X
	44. Error en la colocación de la esfera correspondiente a la escala de ensayo empleada en la prensa	X	X
	45. Velocidad de ensayo fuera de Normas	X	X
	46. Error de lectura de la carga de rotura	X	X
	47. Error de anotación de la carga de rotura	X	X
REDACCION DEL INFORME DE RESULTADOS	48. Error en el cálculo de la tensión de rotura	X	X
	49. Errores de redacción en el certificado de ensayo	X	X

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA

Los procedimientos estadísticos proporcionan medios valiosos para evaluar los resultados de las pruebas de resistencia y la información derivada de estos procedimientos sirve también para reafirmar criterios y especificaciones de diseño.

Para que estos procedimientos sean válidos deben obtenerse de muestras tomadas al azar, y para obtener el mínimo de información debe efectuarse una cantidad suficiente de pruebas. Los estadísticos han determinado que el número de pruebas debe ser mínimo de 30 para que el análisis sea representativo.

Una prueba se define como la resistencia promedio de todos los cilindros (mínimo dos) de la misma edad, elaborados de una muestra tomada de la misma cochada o mezclada.

En cuanto a la frecuencia de los ensayos el Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes, dispone que debe tomarse una muestra por lo menos una vez al día, o cada 100 m^3 de concreto vaciado, o una para cada mezcla vaciada por día.

Sin embargo, la frecuencia y el número de muestras para determinar la resistencia de un concreto, las fijan las características de la obra y el buen control ejercido sobre cada uno de los parámetros que influyen en la resistencia del concreto.

El muestreo puede hacerse con base en el tiempo transcurrido o en el volumen de concreto vaciado; las condiciones de la obra determinarán el método mas práctico para obtener el número de ensayos necesarios.

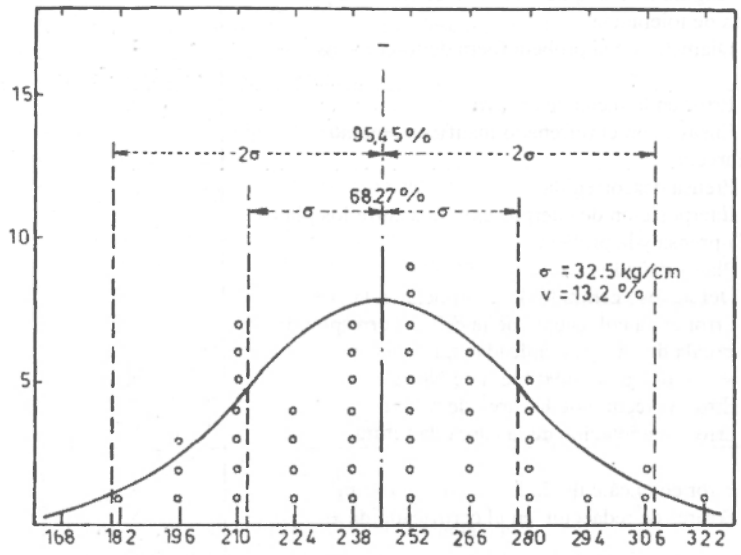


FIGURA No.7. ANÁLISIS DEL LOS RESULTADOS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Tomado de: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1987.

Si se dispone de una serie de resultados de pruebas de resistencia y se colocan en un gráfico de frecuencias como el indicado en la figura No.7, se conforma una curva muy definida que asume un patrón similar a la distribución normal de frecuencias o campana de GAUSS, cuyas propiedades pueden definirse matemáticamente y a partir de ellas calcular ciertas funciones de la resistencia del concreto.

Básicamente son dos las medidas que caracterizan una curva de distribución de frecuencias: una medida de centralización que generalmente es el promedio y una medida de dispersión que usualmente es la desviación estándar, salvo que ésta por tratarse en hormigón de muestras estadísticamente pequeñas, se calcula con el número de muestras disminuido en uno. Las expresiones matemáticas para estas dos medidas están dadas así:

$$\bar{X} = \frac{X1 + X2 + \ldots + Xn}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma\, Xi}{n}$$

$$\sigma = \left\{ \left[(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \ldots + (Xn - X)^2 \right] / n - 1 \right\}^{1/2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma \left[Xi - \left(\frac{\Sigma Xi}{n} \right) \right]}{n-1}}$$

En ocasiones se emplea una medida de dispersión, el coeficiente de variación, definida como:

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{X}} x\ 100$$

En la práctica donde existe un buen control los valores de la resistencia están agrupados cerca del promedio y la curva es alta y estrecha; conforme aumentan las variaciones de resistencia los valores se apartan de la media y la curva se vuelve baja y ancha. Ver figura No.8.

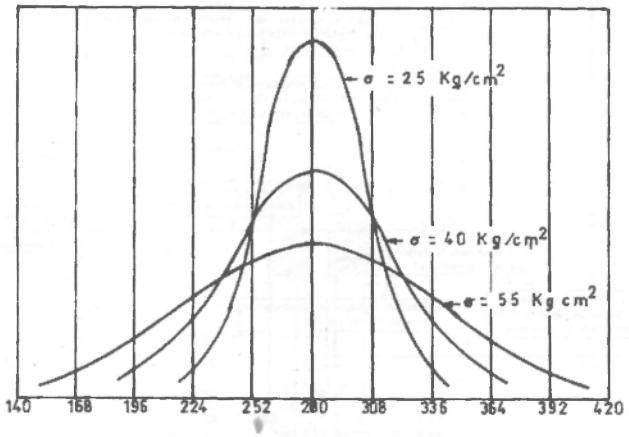


FIGURA No.8. VARIACIONES DE LA RESISTENCIA EN RELACIÓN DE LA X

Tomado de: SÁNCHEZ DE GUZMAN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero.* Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1987.

Para evaluar los defectos de la resistencia final del concreto a los 28 días de edad y considerar satisfactorio el nivel de resistencia de cada clase de concreto se deben cumplir simultáneamente los siguientes requisitos: (Norma NTC 3318).

a) que los promedios de todos los conjuntos de tres pruebas consecutivas de ensayo de resistencia iguale o exceda a f'c;
b) que ningún resultado individual de las pruebas de resistencia sea inferior a f'c - 35 kg/cm².

Antes de rechazar un concreto es necesario tener en cuenta algunos criterios que pueden conducir a un arreglo entre las partes sin detrimento de la calidad de la estructura. A continuación en la figura No.9 se muestra un diagrama de las acciones derivadas de la aplicación del criterio de aceptación o rechazo del concreto.

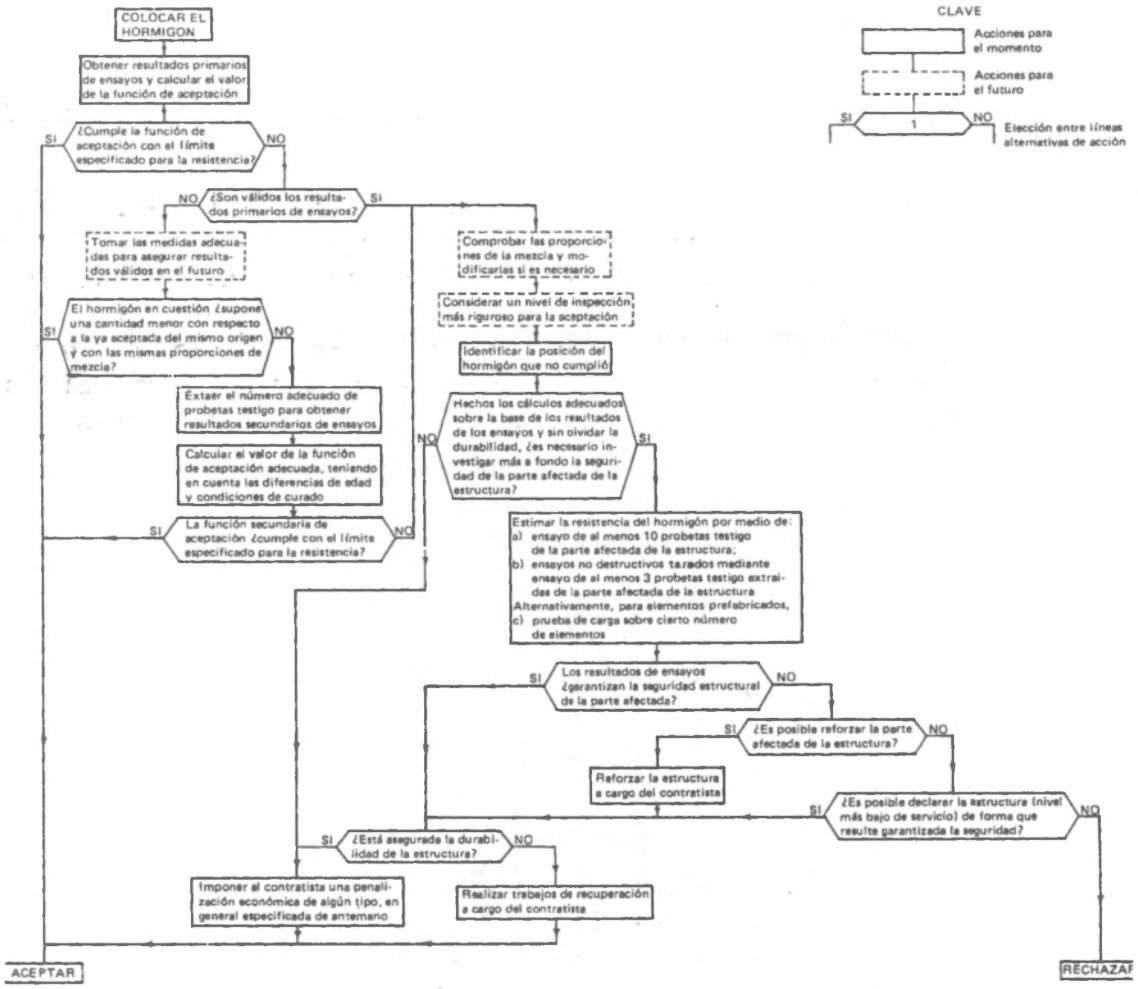


FIGURA No.9. DIAGRAMA DE ACCIONES DERIVADAS DE LA APLICACION DEL CRITERIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Tomado de: SANDINO PARDO, Alejandro; RODRIGUEZ, Carlos Alberto; GÓMEZ CORTÉS, Jose Gabriel; NARANJO VILARO, Ricardo. *Tecnología del concreto*. Bogotá. 1988.

EVALUACIÓN DEL CONCRETO PUESTO EN OBRA

Cada vez se plantea con mayor frecuencia la validez del ensayo de compresión en cilindros testigos para evaluar la resistencia del concreto puesto en la obra.

Al dejar a un lado aspectos tan importantes como el transporte, vaciado, compactación y curado, los resultados de estos no guardan mucha relación con la verdadera resistencia del hormigón colocado en la obra bien sea por exceso o por defecto. Se han desarrollado varios métodos para estimar la verdadera resistencia del concreto vaciado, algunos de uso frecuente en nuestro medio.

Estas pruebas son complementarias a los ensayos de compresión en cilindros testigos, y difieren entre sí en los principios aplicados, en los costos de los equipos empleados, en la facilidad, y grado de confiabilidad y dispersión de los resultados. Entre estos métodos explicaremos algunos:

Indice Escleromètrico

Es un ensayo superficial y trata de determinar la resistencia del concreto correlacionándolo con su dureza.

El aparato mas conocido es el martillo de Schmidt, cuya sección se muestra en la figura No.10; su funcionamiento es como sigue: una masa de cierta magnitud golpea sobre el pivote colocado en contacto con la superficie del concreto. Al apoyar la varilla de percusión y hacer presión sobre el aparato, el resorte entra en compresión. Al llegar al final del recorrido el resorte se libera y la masa se proyecta con una determinada fuerza hacia la superficie del concreto y rebota hacia el otro extremo del aparato arrastrando en su camino un indicador que se desplaza sobre una escala graduada. El número marcado se denomina índice escleromètrico. Luego se relaciona este valor, con la resistencia en kg/cm^2 teniendo en cuenta el ángulo de incidencia del martillo.

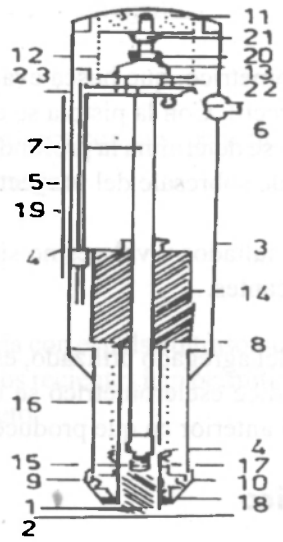


FIGURA No.10. DIAGRAMA DEL ESCLERÓMETRO

Por su naturaleza, el sistema presenta una serie de inconvenientes que es necesario mencionar:

a) influye el tipo de cemento y de agregados;
b) el ensayo es errático en presencia de agregados gruesos superficiales y la rugosidad de la superficie, por lo cual hay que lijarla muy bien.
c) deben evitarse zonas con armaduras superficiales cercanas a los bordes de los elementos o donde se sospeche que el sangrado ha sido excesivo.
d) las lecturas se ven afectadas por la posición del aparato porque en el rebote influye la gravedad. Para esta corrección todos los aparatos traen la curva de resistencia Vs índice esclerométrico relacionándola con el ángulo que el martillo forma con la horizontal;
e) en hormigones viejos puede tener incidencia la carbonatación;
f) el tipo de formaleta y la forma del elemento (plano o cilindrico) influyen en los resultados;
g) el concreto no debe tener diferentes capas pues sólo se evaluará la mas superficial;
h) en hormigones de baja resistencia menores de 100 kg/cm^2 o de corta edad se pone en entredicho su eficiencia;
i) influye la destreza del operario para hacer llegar la varilla percusora perpendicularmente a la superficie ensayada.

Dada la gran dispersión que presentan los resultados, es aconsejable tomar un número de lecturas, diez por cada punto, mínimo 6, descartando los valores que difieran mucho.

Los inconvenientes expuestos anteriormente hacen que la confiabilidad del método sea baja y sólo se utilice para establecer valores comparativos entre concretos de resistencias diferentes para características similares (tipo de cementos, agregados, curado, etc); se puede anotar a su favor que es un método fácil y rápido, no destructivo y el costo del martillo es bajo.

Penetración de proyectiles

Es una variante del índice esclerométrico, que busca evaluar la resistencia del hormigón por la profundidad de penetración de un proyectil. Con la pistola se efectúan disparos en los vértices de un triángulo equilátero de 18 cms de lado y se determina la profundidad de penetración como la diferencia entre la longitud inicial y la longitud que sobresale del proyectil.

Presenta una alta dispersión de resultados y valores no siempre concordantes con las curvas de calibración suministradas por los fabricantes.

Los resultados dependen mucho del agregado utilizado, es un ensayo que mide la resistencia del concreto superficial, al igual que el índice esclerométrico se utiliza en ensayos comparativos, pero presenta una desventaja con relación al anterior en que produce descascaramiento.

Velocidad del pulso ultrasónico

Este método consiste en evaluar la resistencia del concreto aprovechando la facilidad con que un pulso ultrasónico longitudinal lo atraviesa; la facilidad de propagación del pulso es función de la

densidad del material la cual a su vez se correlaciona directamente con su resistencia mecánica. En este ensayo, a diferencia del índice esclerométrico y del ensayo de penetración, se evalúa todo el material y no la superficie.

El aparato consta de un palpador puesto en contacto con la superficie del elemento que se va a evaluar, que emite un pulso que es recogido por otro palpador colocado en otro punto, generalmente en una cara opuesta.

El aparato determina eléctricamente el tiempo en microsegundos que tarda el pulso en recorrer el espacio entre los dos palpadores. Conocido el espacio por medición directa se determina la velocidad de propagación; sabiendo que la velocidad de transmisión de una onda en un material depende de su módulo de elasticidad, y que el módulo de elasticidad está relacionado con la resistencia a la compresión, entonces se puede relacionar la velocidad con la resistencia, así:

$$V \quad R^{1/5} \quad \text{ó} \quad V \approx R^{1/6}$$

La medición de la velocidad del pulso ultrasónico se ve afectada por varios factores, entre los cuales tenemos:

a) longitud de medición, pues si la precisión en la medida del tiempo es bastante exacta, no lo es en la medida de la longitud;

b) presencia de la armadura; se considera que el efecto de las varillas en dirección perpendicular al pulso tiene un efecto menor que la presencia de las varillas en el sentido paralelo a la propagación, sobretodo si las varillas tienen un diámetro superior a 6 mm (1/4"). Al poder viajar la onda mas rápidamente en el acero puede suceder que en un momento se registre primero la onda que viaja a través de él, se considera que la primera onda en alcanzar el receptor puede viajar a través del acero;

c) tipo, cantidad y tamaño máximo del agregado;

d) proporciones de la mezcla;

e) contenido de aire en la mezcla;

f) grado de contacto de los palpadores con la superficie (rugosidad superficial);

g) contenido de humedad del hormigón;

h) edad del concreto;

i) relación agregado - cemento.

En la determinación de la resistencia con el pulso ultrasónico es necesario que la masa del hormigón no presente huecos. Sin embargo estudios recientes han permitido emplear este método para determinar fisuras y grietas en las masas de concreto.

Arrancamiento de insertos

Dentro del método de arrancamiento de insertos del concreto, existen tres variables para realizar el ensayo.

Pull - out test

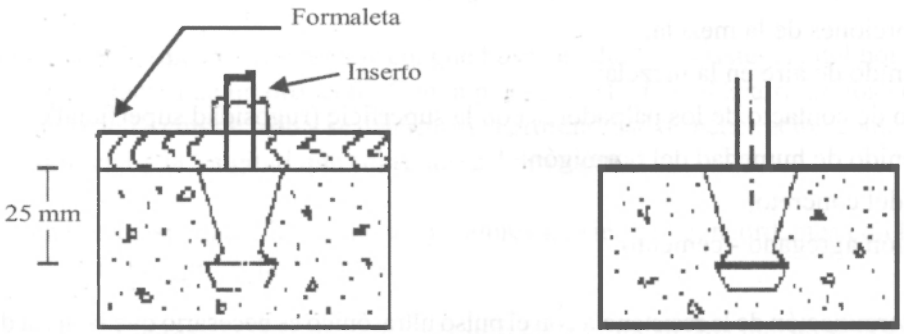
El método se basa en extraer un elemento que previamente ha sido embebido en el hormigón, bien sea durante el vaciado, o bien con taladro y adhesivo, midiendo la fuerza necesaria para lograr esa extracción. En este caso el concreto falla por esfuerzos de tensión y cortante, lográndose una buena correlación con su resistencia a la compresión.

El método ha sido usado en Rusia desde 1935, pero sólo después de estudios que mostraban una buena correlación entre sus resultados y la resistencia a la compresión, y su poca variabilidad, se empezó a poner en práctica en la década del 70.

Tiene un inconveniente y es que necesita ser planeado con anterioridad para dejar embebidos en el concreto los insertos; pero en nuestro medio no están comercializados los sistemas de extracción. Además de ser una prueba parcialmente destructiva dependiendo de la relación profundidad de penetración/menor dimensión de la sección. Como alternativa se ha planteado aplicar una fuerza asociada con una resistencia mínima; si ésta se alcanza sin que se presente desprendimiento se considera que el hormigón del elemento ensayado cumple los requisitos de resistencia y no hay necesidad de llegar hasta la extracción final.

Otra desventaja es que con este método sólo se evalúa la calidad del hormigón superficial, pues la profundidad de anclado no debe soprepasar los 10 cm, ya que una profundidad mayor implicaría fuerza de extracción muy grande y por lo tanto equipos mas poderosos y costosos que afectarían el aspecto práctico y económico del método.

Los resultados del método se ven afectados por la presencia del acero de refuerzo, la perpendicularidad del inserto y la forma en que es aplicada la fuerza de extracción: Ver figura N° 11



A. El inserto es colocado en el interior de la formaleta antes de fundir el concreto

B. Formaleta se retira

FIGURA No.11. ENSAYO PULL OUT TEST

Break off tester

Este método para determinar la resistencia del concreto puesto en obra es ampliamente usado en los países escandinavos. Básicamente consiste en practicar en el concreto, una ranura con un anillo plástico si el hormigón esta fresco o con una broca si el hormigón está endurecido. Con un gato hidráulico se aplica una fuerza transversal ejerciendo esfuerzos de flexión, y registrando la fuerza necesaria para la fractura del núcleo que resulta, hay una buena correlación entre ésta fuerza y la resistencia a la compresión del concreto. La figura No.12 ilustra el método.

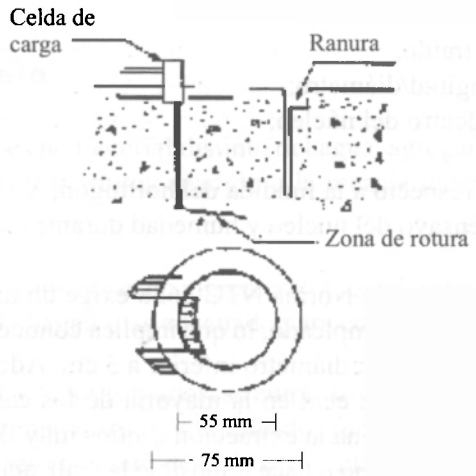


FIGURA Nº 12. ENSAYO DE BREAK-OFF

Pull off tester

Este método fue desarrollado en Inglaterra, y consiste en adherir con resina epóxica un pequeño cilindro de acero sobre la superficie del hormigón a la que previamente se le ha removido la capa superficial mediante lijado. Cuando la resina endurece se aplica una fuerza de tensión sobre el cilindro de acero, registrándose la carga máxima la cual se correlaciona con la resistencia a la compresión del concreto. La forma como se realiza el ensayo es mostrado en la figura No.13.

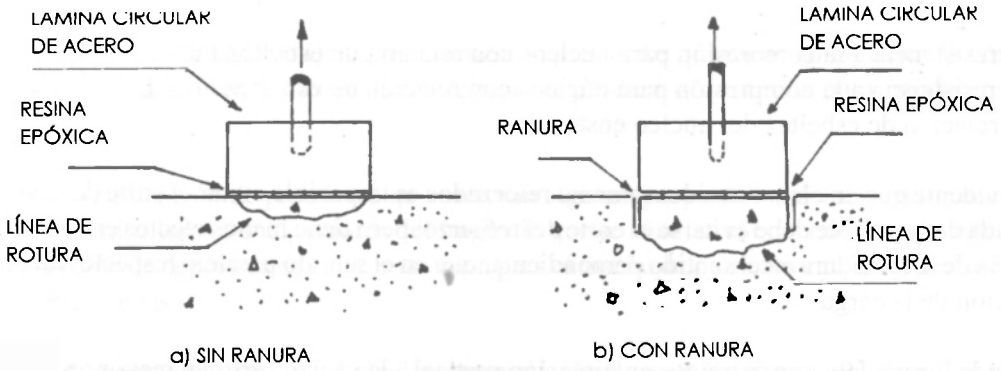


FIGURA No.13. ENSAYO PULL OFF TESTER

Extracción de núcleos

Se considera la prueba más concluyente para determinar la resistencia real del hormigón vaciado en una estructura. Consiste en extraer cilindros de concreto de los elementos en los cuales se va a medir la resistencia. La extracción del cilindro se hace con una broca cilíndrica hueca en cuyo extremo van engastados cristales muy finos de diamante, que por abrasión van desgastando el concreto, empleando agua como refrigerante y lubricante. Posteriormente al cilindro extraído se le mide la resistencia a la compresión.

La resistencia obtenida por este método se ve afectada por los siguientes factores:

- diámetro del cilindro extraído;
- relación de esbeltez, longitud/diámetro;
- presencia de armadura dentro del núcleo;
- altura de extracción;
- dirección de extracción respecto a la fundida del hormigón;
- conservación antes del ensayo del núcleo y humedad durante el mismo.

Respecto al diámetro del núcleo la Norma NTC 3658 exige un diámetro igual o superior a tres veces el tamaño máximo del agregado empleado, lo que implica conocer el tamaño máximo usado, en ningún caso se recomiendan núcleos con diámetro inferior a 5 cm. Además debe tenerse en cuenta la separación entre varillas de refuerzo, la cual en la mayoría de los casos es menor que el diámetro mínimo estipulado. Lo anterior condiciona la extracción a sitios muy determinados o induce a que se incumpla el requisito del diámetro mínimo o hace imposible la realización de la prueba. A medida que aumenta el diámetro del núcleo se reduce la dispersión de los resultados.

La relación longitud/diámetro recomendada es de 2, pero en la práctica es difícil mantener esta relación, ya sea por las dimensiones del elemento de donde se extrae o por accidentes al retirar el núcleo taladrado, por la presencia de armaduras o por roturas en el momento de cortarlo. Existe un factor de corrección cuando la relación de esbeltez no es de 2. Así:

$$f_2 = \frac{2}{1.5 + (1/L)} f_L$$

f_2 = resistencia a la compresión para núcleos con relación de esbeltez l/d = 2;
f_L = resistencia a la compresión para núcleos con relación de esbeltez l/d = L;
L = relación de esbeltez del núcleo ensayado.

Es evidente que en elementos densamente reforzados es imposible evitar el corte de la armadura; en la medida de lo posible debe evitarse el corte del refuerzo; pero tiene menos efectos en los resultados, la presencia de la armadura en el sentido perpendicular que en el sentido paralelo respecto a la dirección de aplicación de la carga.

Cuando los núcleos son extraídos en dirección vertical a la vaciada arrojan mayor resistencia que al ser extraídos en dirección horizontal.

Resulta lógico pensar que la resistencia del hormigón y por lo tanto la de los núcleos extraídos de él, resulte afectada por el tipo y dimensión de la estructura especialmente debido al aumento de temperatura en las estructuras masivas y a las rápidas evaporaciones en aquellas donde la superficie expuesta es alta; y por la cercanía de los sitios de extracción a los bordes o superficies, o la acción compactadora del hormigón encima de el sitio de extracción.

Por último el ACI y el Código Colombiano de Construcciones sismoresistentes, recomiendan ensayar los núcleos secos, dejándose 7 días al aire antes del ensayo, si el concreto de la estructura va a estar seco durante su servicio. La norma NTC 3658 determina los requisitos para la toma y ensayos de los núcleos de concreto.

Aditivos para el concreto

▪ **Definición:** Un aditivo es un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico usado como ingrediente en concretos y morteros añadido a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

Hoy en día, los aditivos se consideran un ingrediente más del concreto y se emplean para modificar las propiedades de modo que lo hagan mas adecuado para condiciones de trabajo particulares.

▪ **Historia:** Desde la época de los romanos, se emplearon aditivos para el concreto agregando cal y puzolanas. Se sabe que los primeros aditivos empleados fueron la sangre de toro y la clara de huevo, que se utilizaron para mejorar las características de la mezcla en estado plástico.

Como la fabricación del cemento Portland es relativamente reciente (1850), poco después y con el fin de lograr tiempos de fraguado mas regulares, se utilizó el yeso crudo y el cloruro de calcio (1875 a 1890); los albañiles franceses de la época añadían un poco de yeso vivo en el momento de mezclar el concreto. En el año de 1885 fue patentada la adición de cloruro cálcico como aditivo y en 1888 Candlot demostró que según la dosis éste podría ser acelerador o retardador del fraguado.

Simultáneamente con los aceleradores se utilizaron los hidrófugos, pues la única preocupación de los usuarios no era solamente la de regular la duración del fraguado, sino también la de conseguir hormigones impermeables.

Hacia 1895 los franceses y alemanes emplearon productos químicos como aditivos con el fin de mejorar la plasticidad y en 1906 en USA se usaron productos químicos para producir concretos impermeables.

La comercialización de productos que mejoran algunas propiedades del concreto datan de 1910 y se trataba de hidrófugos y aceleradores del fraguado que se añadían al concreto que iba a ser utilizado en la construcción de depósitos de agua, y también para el diseño de morteros empleados en la reparación de obras subterráneas.

En 1934 se comercializaron los plastificantes y los inclusores de aire en 1939, pero su utilización en Europa no empezó hasta después de la segunda guerra mundial en 1947.

Los retardadores de fraguado no irrumpieron comercialmente hasta 1959, pero se había visto que algunos productos como el óxido de zinc y el ácido fosfórico eran potentes retardadores del fraguado. En Alemania se usaban estos productos para el retardo del fraguado, porque era necesario interrumpir los trabajos en las obras durante los ataques aéreos.

En los años siguientes gracias al progreso de la industria química, los materiales plásticos se han incorporado en el concreto, hoy en día los fabricantes elaboran cada vez productos mas sofisticados, según las necesidades de la construcción moderna.

▪ **Clasificación de los aditivos:** Los aditivos para el concreto se clasifican, por su función dentro del concreto y por su composición química.

La Norma Colombiana NTC No.1299 reglamenta los aditivos químicos para el hormigón, sus usos, requisitos y métodos de ensayo destinados a demostrar la diferencia entre hormigones con o sin aditivos.

La clasificación de los aditivos según esta norma es como sigue:

TIPO A: Aditivo plastificante: permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del hormigón.

TIPO B: Aditivo retardador: retarda el fraguado del concreto.

TIPO C: Aditivo acelerante: acelera tanto el fraguado como la resistencia del concreto a edades tempranas.

TIPO D: Aditivo plastificante retardador: permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener un concreto de una determinada resistencia y retardar su fraguado.

TIPO E: Aditivo plastificante acelerador: permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener un hormigón de determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a temprana edad.

TIPO F: Aditivo reductor de agua de alto rango: Se llama también Superplastificante.

TIPO G: Aditivos superplastificantes retardadores.

Una clasificación reducida en términos de su función es la siguiente:

a) acelerantes;
b) incorporadores de aire;
c) reductores de agua y que controlan el fraguado;
d) retardantes;
e) minerales finamente molidos;
f) misceláneos.

Este último grupo está dividido en 11 categorías de acuerdo con los efectos característicos de su uso.

▪ **Preparación y dosificación de los aditivos:** La preparación de cualquier aditivo y su dosificación debe atenerse a las recomendaciones del fabricante.

Los aditivos en polvo deben dosificarse en peso y los aditivos en pasta o líquidos pueden dosificarse al peso o al volumen, la mayoría de los dosificadores de aditivos líquidos para concreto usados actualmente son de tipo volumétrico.

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 cambiar el requerimiento de agua de la mezcla. Los aditivos químicos líquidos no deben estar en contacto directo con el cemento seco.

Para evaluar el uso de cualquier aditivo se debe hacer en el concreto en cuestión bajo las condiciones esperadas en la obra ya que los resultados obtenidos están influenciados por las características del cemento y de los agregados, así como por sus proporciones, los métodos de construcción y las condiciones ambientales.

Al evaluar económicamente el uso de los aditivos debe tenerse en cuenta el efecto sobre el posible cambio de volumen de una cochada. Si agregando el aditivo cambia el rendimiento, como sucede a menudo, el cambio en las propiedades del concreto no solamente es efecto del aditivo, sino del cambio en las proporciones iniciales.

En ocasiones, un aditivo permite el uso de un método de construcción o diseño menos costoso, como en el caso de diseños de unidades estructurales con aditivos retardadores que sale mas económico porque permite la colocación de grandes volúmenes de hormigón en mayores períodos de tiempo, pero al evaluar la economía del uso del aditivo en la obra, no debe olvidarse que éste requiere mano de obra más especializada para su manipulación y que si bien en algunas condiciones de trabajo el uso de aditivos es el único medio para lograr el fin propuesto, en otros el uso de aditivos no es el único medio para lograr eficiencia y calidad en el trabajo.

Por último, dos o mas aditivos pueden no ser compatibles en la misma solución; por lo tanto, a menos que se tengan pruebas o que lo permita el fabricante los aditivos no deben ser premezclados antes de su introducción en el concreto. Siempre se debe recordar, al escoger y utilizar un determinado aditivo realizar ensayos de control en la obra para precisar su dosificación óptima, puesto que los efectos de un aditivo pueden variar con un gran número de factores y en particular con la naturaleza del cemento. Una vez obtenida la dosificación óptima, esta se multiplica por la capacidad en kilos de cemento de la mezcladora, se divide entre la densidad del aditivo y se obtiene la cantidad en volumen que debe agregarse de aditivo para cada mezclada.

A continuación hablaremos sobre los aditivos más empleados en nuestro medio.

• **Aditivos acelerantes:** Un aditivo acelerante es un material que se añade al concreto con el fin de reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo temprano de resistencia. Sin embargo el desarrollo de resistencia del concreto puede ser acelerado por otros métodos tales como:

1. El uso de cemento de resistencias altas a tempranas edades como es el cemento Portland Tipo III.
2. Aumentando el contenido de cemento.
3. Curando el concreto a mas altas temperaturas.
4. Calentando el agua y los agregados.
5. Una combinación de los anteriores.

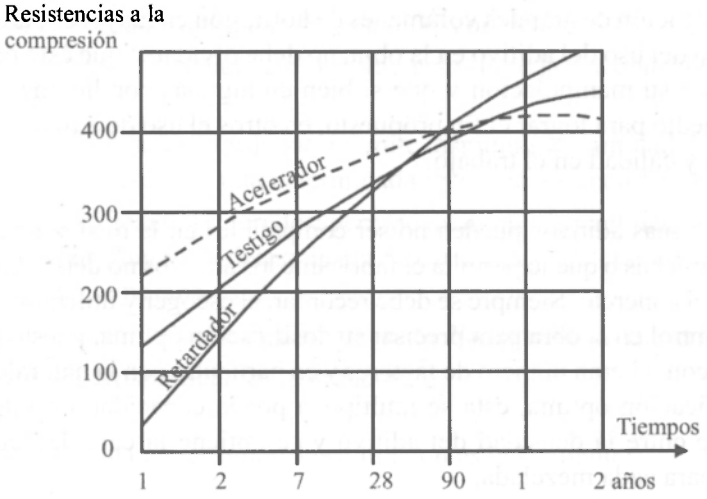
El cloruro de calcio es el aditivo acelerante más utilizado ya que es efectivo por su peso y relativamente más barato.

El cloruro de calcio, al igual que las demás sustancias acelerantes debe ser dosificado porque en concentraciones de 1 a 2%, o dosis mas altas del peso del cemento es un gran acelerante pero en dosis bajas se convierte en un retardante.

Los acelerantes se usan para:

- Remover la formaleta mas rápidamente.
- Acortar el período necesario de protección, y así evitar daños al concreto sometido a factores como congelación y descongelación.
- Terminar mas rápido la estructura o la reparación.
- Reducir la presión sobre la formaleta o reducir el tiempo en el cual las formaletas están sujetas a presiones hidráulicas.

El empleo de estos aditivos reduce el tiempo inicial y final de fraguado y aumenta los cambios de volumen. La resistencia a la compresión se incrementa notablemente a temprana edad pero se reduce a los 28 días, es decir, que las resistencias finales suelen quedar aumentadas con los retardadores y disminuidas con los acelerantes y en este último caso, tanto cuanto mas acelerante sea el producto. (Ver gráfica No.9).



GRAFICA No.9. ESQUEMA DE LA INFLUENCIA COMPARADA DE UN ACELERADOR Y UN RETARDADOR SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LAS RESISTENCIAS

Tomado de: SANDINO PARDO, Alejandro; RODRIGUEZ, Carlos Alberto; GÓMEZ CORTÉS, Jose Gabriel; NARANJO VILARO, Ricardo. *Tecnología del concreto*. Bogotá. 1988.

En cuanto a la durabilidad del concreto se debe tener en cuenta que el cloruro de calcio empleado como acelerante no actúa como agente anticoagulante y su uso disminuye la resistencia al ataque de los sulfatos y aumenta la expansión producida por la reacción agregado-álcali en el caso de que ella se presente.

Por otro lado, el cloruro de calcio produce corrosión y por lo tanto no debe ser empleado en los siguientes casos:

- concreto curado con vapor;
- concreto preesforzado;
- concreto que contenga embebidas piezas de aluminio o elementos galvanizados.

Si se respeta el límite de dosificación del 2% del peso del cemento, su uso no causa corrosión en el acero de refuerzo bajo condiciones ambientales normales siempre y cuando las varillas tengan suficiente recubrimiento.

▪ **Aditivos retardantes:** utilizados para demorar la velocidad de fraguado.

Los aditivos retardantes se emplean principalmente para reducir el efecto acelerante del clima cálido sobre el fraguado del concreto, o simplemente para retrasar el fraguado inicial cuando las condiciones de colocación y compactación son dispendiosas como es el caso de elementos muy esbeltos y elementos muy reforzados o cuando el transporte del concreto debe hacerse a grandes distancias.

Los aceleradores así como los retardantes son aditivos solubles en agua que actúan químicamente, modificando la solubilidad de los diversos constituyentes del cemento.

▪ **Aditivos reductores de agua y de control del fraguado:** utilizados para reducir la cantidad de agua del mezclado requerida en la producción del concreto con una consistencia determinada, o para aumentar el asentamiento del concreto con un contenido dado de agua.

Muchos aditivos reductores de agua pueden ser también retardadores del fraguado y algunos pueden incluir ciertas cantidades de aire en el concreto.

El uso de aditivos reductores de agua mejoran la manejabilidad del concreto fresco para un mismo asentamiento, facilitando la colocación con menor segregación y mayor respuesta a la compactación.

En general los aditivos reductores de agua producen en el concreto en todas las edades un aumento de resistencia mayor que la que se puede obtener con la simple reducción de la relación agua-cemento. La resistencia a la flexión se aumenta menos que la resistencia a la compresión.

Por otra parte, el uso de este aditivo aumenta la durabilidad del concreto al aumentar la resistencia y la impermeabilidad.

Por último, cuando se emplean estos aditivos, así como se emplean los demás, deben realizar ensayos con el fin de evaluar el efecto del aditivo sobre las propiedades del concreto que se está fabricando bajo las condiciones ambientales, con los materiales que se estén empleando y con los procedimientos de construcción que van a ser usados. Debido a que se emplean en pequeñas cantidades debe ponerse especial cuidado en su dosificación.

▪ **Aditivos inclusores de aire:** originan aire en el concreto o mortero, durante el mezclado comúnmente en pequeñas cantidades en forma de burbujas pequeños de 1 mm de diámetro o menos, que mejoran la manejabilidad y aumentan la resistencia al congelamiento.

Uno de los mayores avances en la tecnología del concreto ha sido el desarrollo del concreto con aire incluido por los grandes beneficios que ello implica no sólo para el concreto fresco sino para el concreto endurecido.

Aunque los aditivos inclusores de aire no son clasificados como plastificantes, el aire incluido mejora la manejabilidad del concreto cuando éste se encuentra en estado plástico. Las mezclas con inclusores de aire son más manejables, cohesivas y plásticas, y permite moldearlos y terminarlos fácilmente.

El propósito fundamental de la inclusión de aire en el concreto es darle un alto grado de resistencia a la acción destructiva del congelamiento y deshielo permitiendo que los vacíos del aire incluido actúen como alojamiento del agua cuando ésta se ve forzada a desplazarse por el aumento de volumen al llegar al punto de congelación, reduciendo la presión y previniendo que se exceda la resistencia a la tensión que podría llevar a la falla al concreto. Además, el aire incluido protege al concreto de las sustancias químicas usadas para el deshielo, y de la acción de los sulfatos; reduce la permeabilidad del concreto, su peso unitario, también su resistencia a la compresión hasta en un 15% y su resistencia a la flexión hasta en un 10%.

En general la inclusión de aire varía entre un 3% a 6% en concretos de resistencia normal y entre 3 - 4% para concretos de alta resistencia.

▪ **Aditivos minerales finamente molidos:** Pueden clasificarse en cuatro grupos:

La gran mayoría de los materiales así usados son polvos mas finos que el cemento Portland y por lo tanto influencian las propiedades físicas del cemento fresco. Son utilizados para aumentar el cemento en mezclas deficientes en partículas muy finas.

Son aditivos cuando son agregados a la mezcla del concreto como un ingrediente mas, bien sea antes o durante el mezclado; y son adiciones cuando son mezclados o molidos juntos con el cemento.

Con el fin de obtener la necesaria trabajabilidad, plasticidad y bombeabilidad, muchos diseños de hormigón necesitan gran cantidad de cemento, el que se requiere para desarrollar adecuadas resistencias, pero una fracción a veces grande de cemento puede ser reemplazada por estos aditivos finamente molidos.

1. Cementosos. Entre los materiales cementantes se incluyen los cementos naturales, cales hidráulicas, cemento de escoria (mezcla de escoria de los altos hornos y cal) y escorias granuladas.

2. Puzolánicos. La puzolana se define como un material silíceo o sílico - aluminoso que por si mismo posee poco o ningún poder cementante pero molido finamente y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente que se encuentra en el cemento para formar compuestos con propiedades cementantes.

Entre estos materiales se tienen las cenizas volcánicas, las tierras diatomáceas y algunas arcillas ya sean crudas o tratadas con calor.

3. Cementantes y puzolánicos. Los principales materiales cementantes - puzolánicos son ciertas cenizas que se producen por la combustión de alquitrán.

4. Otros. Son minerales finamente molidos que no son cementantes, ni puzolánicos como las arenas silíceas y de cuarzo, piedras dolomíticas y calcitas, polvos de mármol, granito, requieren en su mayoría de calcinación y molienda para desarrollar actividad puzolánica.

▪ **Aditivos misceláneos:** Entre los aditivos misceláneos tenemos los siguientes:

a) Aditivos formadores de Gas: Se agregan a la mezcla de concreto para contrarrestar el asentamiento y la exudación de tal forma que le permita al concreto retener el volumen donde fue fundido.

b) Aditivos para anclaje y rellenos: Son principalmente usados para cementar pozos petroleros en condiciones de altas temperaturas, presiones y distancias grandes para el bombeo.

c) Aditivos que producen expansión: Son aquellos que durante el período de hidratación del concreto se expanden o reaccionan con algunos constituyentes del concreto, para causar expansión, son utilizados para disminuir los efectos de contracción de secado.

d) Aditivos pegantes: Se usan principalmente en trabajos de resane y parcheo donde se requieren delgados espesores; desarrollan una alta resistencia a la adherencia.

e) Aditivos que ayudan al bombeado: Son utilizados para quitar o disminuir las dificultades en el bombeo del concreto.

f) Aditivos colorantes: Son utilizados para producir un color específico en concretos y morteros sin alterar las propiedades físicas de la mezcla.

g) Aditivos floculantes: Son utilizados para aumentar la rata de exudación, la cohesividad, y disminuir el sangrado.

h) Aditivos fungicidas e insecticidas: El principal propósito de estos aditivos es inhibir y controlar el crecimiento de hongos y bacterias en pisos y muros de concreto.

i) Aditivos impermeabilizantes: No se han encontrado aditivos que sean impermeabilizantes, los que se utilizan actualmente disminuyen la rata de penetración del agua dentro del concreto endurecido o la rata de transmisión del agua a través del concreto insaturado de la cara húmeda hacia la cara seca.

j) Aditivos para reducir la expansión árido alkali.

k) Aditivos que inhiben la corrosión.

Algunas clases de concreto

Concreto lanzado

Se conoce también con el nombre de Shot Crete. Tiene muchas ventajas en trabajos subterráneos como túneles y obras de minería. Sirve como soporte o como protección en el primer caso la mezcla empareja la superficie para la aplicación posterior de un recubrimiento impermeable, en el segundo se utiliza para recubrir, sujetar y proteger la impermeabilización. También se utiliza en la protección y revestimiento de taludes y excavaciones.

De todas sus aplicaciones, la mas importante es la consolidación de la roca mediante el soporte de la superficie excavada que se logra al rellenar sus irreegularidades y generar un revestimiento integral.

Hay dos procesos básicos con los cuales se aplica el concreto lanzado:

a) El proceso de mezcla seca, en el cual se mezclan bien el cemento y el agregado con muy poca humedad (máximo 5%) y se introducen en un alimentador, y por medio de aire comprimido se impulsa a la boquilla de salida en donde se le agrega el agua a una mayor presión, y de allí sale proyectado a alta velocidad sobre la superficie. Este método es el mas fácil de usar y da mejor resultado, pero se necesita un excelente control de humedad de los agregados, que no siempre es fácil, para posteriormente dosificar el agua en la boquilla de salida; por otro lado, la mezcla produce mucho polvo molesto para los operarios.

b) Proceso de mezcla húmeda, en el se dosifica el concreto con el agua necesaria y es impulsado a la boquilla de salida donde se proyecta a la superficie; el método requiere una excelente dosificación del agua, pues si el concreto queda muy húmedo se escurre y si queda seco se queda atorado en la boquilla de salida.

Las propiedades del concreto lanzado no difieren de las de un hormigón colocado convencionalmente de proporciones similares; es el método de colocación el que le confiere ventajas significativas para numerosos usos.

El concreto lanzado tiene un tamaño máximo dado por las características del equipo, se coloca en espesores de 10 cm pero si se utilizan acelerantes el espesor se puede aumentar.

Sin embargo, el concreto lanzado tiene un contenido alto de cemento alto y el equipo necesario así como la colocación son muy costosos, además se requiere de gran habilidad y experiencia del operario. pues su calidad depende en gran parte del trabajo del boquillero.

Concreto Ciclópeo

El concreto ciclópeo es un material utilizado en la construcción y está constituido de arena, grava, agua y cemento, además de serle incorporados mampuestos y hasta bloques de gran tamaño.

De una manera muy sencilla, el concreto ciclópeo es un concreto al que se le agregan piedras. Estas pueden ser de diferentes tamaños, pero generalmente son piedras más bien grandes. Por razones evidentes, las piedras no se le añaden a la concretadora o mezcladora en el proceso de su elaboración. Se colocan en el lugar donde va a ir el concreto ciclópeo y se vacía la mezcla sobre ellas.

Las piedras que van a conformar el concreto ciclópeo deben estar muy bien lavadas y húmedas en el momento del vaciado, con el fin de que se pueda llegar a obtener unos resultados óptimos.

Es de notar que, mientras los demás tipos de concreto requieren de formaleta, el concreto ciclópeo no la necesita, es decir, va enterrado.

Por constituir un material natural, la piedra no precisa para su empleo más que la extracción y transformación en elementos de forma adecuada. Sin embargo, es necesario que reúna una serie de cualidades que garanticen su aptitud para el empleo a que se destine. Estas cualidades dependen de su estructura, densidad, compacidad, porosidad, dureza, composición, durabilidad y resistencia a los esfuerzos a que estará sometida.

Concretos Autonivelantes

Este tipo de concretos son los que utilizan aditivos fluidificantes y permiten:

a. trabajabilidad fuertemente aumentada para el mismo contenido de agua;

b. disminución de la cantidad de agua para la misma trabajabilidad y, por tanto, un sensible aumento de la resistencia;

c. mediante un compromiso entre los dos efectos anteriores, unos aumentos menores a la vez en la trabajabilidad y en la resistencia.

Los concretos autonivelantes representan una facilidad donde las condiciones de la obra no permiten el uso de concreto tradicional.

Estos concretos tienen también las siguientes denominaciones:

- concretos autocompactantes o autonivelantes;
- concreto líquido;
- concreto con alta fluidez;
- concreto con revenimiento colapsado.

Los fluidificantes vienen preparados en forma líquida de color marrón oscuro. La dosificación oscila, en general, entre el 2% y el 5% del peso del cemento. Es importante la forma de adición del aditivo a la mezcla, pues se recomienda disolverlo con el agua antes de agregársela.

En los efectos obtenidos, la acción reductora del agua de un fluidificante oscila entre el 5% y el 20% lo que va acompañado de una ganancia de resistencia entre el 8% y el 20%.

La naturaleza del cemento influye en los efectos y dosificación óptima del fluidificante. Últimamente se están empleando ciertos tipos de resinas cuya acción fluidificante es temporal.

Concreto reforzado con fibras

La utilización de fibras sintéticas o naturales como refuerzo parcial o total del concreto tiene cierta antigüedad y difusión y ha cobrado importancia desde 1960 cuando se desarrollaron aplicaciones modernas de la fibras métalicas, vidrio, carbón, orgánicas y minerales, polipropileno, nylon, poliester y otras.

Los parámetros que determinan la capacidad de refuerzo de una fibra son: Resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, adherencia con pasta de cemento, relación de poisson y relación longitud/ diámetro.

El principio básico de utilización de fibras en el concreto, consiste en aumentar la resistencia a todos los modos de carga que inducen esfuerzos de tensión (tensión directa, flexión y cortante) y disminuir la fragilidad del concreto para que este se comporte como un material relativamente flexible.

Las fibras se han utilizado principalmente en pavimentos y losas donde la relación área/volumen es alta y se requiere un mecanismo de control de grietas superficiales; de igual modo en los concretos masivos donde el calor de hidratación es alto y es necesario controlar grietas y fisuras. Actualmente se está investigando su utilización en estructuras que demandan una gran capacidad de absorción de energía, como es el caso de estructuras antisísmicas o hidráulicas donde se disminuye notablemente el ataque por erosión o cavitación.

Tipos de fibras

Fibra de asbesto

Es el nombre general de cierta variedad de fibras naturales de silicatos cristalinos, entre ellos las serpentinas y anfíboles. Se caracterizan por su gran durabilidad. En Colombia la mina de explotación se encuentra en Campamento (Antioquia), pero la demanda nacional no alcanza a ser suplida por su producción, razón por la cual la mayoría debe ser importada de Canadá.

Sin embargo, a nivel mundial las plantas de asbesto están tratando de ser clausuradas, ya que se ha descubierto que la asbestosis es un factor de riesgo cancerígeno. En Colombia, empresas como Colombit S.A. ya están encontrando materiales sustitutos del asbesto, y los están implementando en la producción a nivel industrial.

Fibras cerámicas o de carbón

Este tipo de fibras poseen alta rigidez, resistencia a la tracción y son poco reactivas a las condiciones alcalinas de la pasta de cemento. Presentan la desventaja al implicar un costo muy alto en su producción. Existen dos tipos:

Tipo I: Alto módulo de elasticidad.

Tipo II: Alta resistencia como fibra de vidrio y fibras metálicas

Fibras artificiales o sintéticas

- Polipropileno: Bajo costo, alta durabilidad.
- Nylon: Alta resistencia y elongación. Ha sido usada frecuentemente en concretos resistentes a impactos. Muy alto costo.
- Poliéster: Existen dudas acerca de su durabilidad en ambientes alcalinos. Alto costo.
- Polietileno: Se producen fibras relativamente baratas.
- Lanas de Rocas: Dificultad en su producción.

Fibras vegetales

Presentan un bajo módulo de elasticidad y una baja resistencia a temperaturas elevadas, entre ellas se encuentra el fique o cabuya.

Concreto ligero

Se define como aquel hormigón que a la edad de 28 días alcanza una resistencia entre 175 y 250 kg/cm^2, según el diseño, pero que tiene un peso unitario que varía entre 800 a 1600 kg/m^3.

Existen tres métodos para producir concreto ligero, en el primero se emplea agregado liviano poroso de baja densidad relativa en vez de agregado normal cuya densidad es aproximadamente 2.6 gr/cm^3. El concreto resultante se conoce con el nombre del agregado ligero empleado. El segundo método para producir concreto ligero consiste en la formación de grandes cavidades del concreto o de la masa de mortero. Estas cavidades deben distinguirse claramente de las cavidades muy, finas producidads por la inclusión de aire. Este tipo de concreto se conoce con diversos nombres tales como concreto aireado, celular, espumoso o gasificado. El tercer método para obtener concreto ligero es aquel en el que se omite en la mezcla el agregado fino de tal manera que quedan en ella grandes cavidades intersticiales, este concreto se conoce con el nombre de concreto sin finos.

La característica de los agregados ligeros que influyen en la calidad del concreto son las mismas que se exigen a los agregados normales; el agregado ligero difiere del agregado ya estudiado en su alta absorción entre 5 y 15% y en su bajo peso unitario entre 500 y 1500 kg/m^3, mientras el peso unitario de los agregados normales como ya se dijo varía entre 1500 y 1800 kg/m^3 y su absorción entre 1 y 5%.

Las ventajas de un concreto ligero son entre otras las siguientes:

- Debido a su baja densidad produce un buen aislamiento térmico con espesores menores que el concreto convencional.
- Su menor peso permite construir edificios mas livianos, con menor costo de la cimentación y en el dimensionamiento.
- Los prefabricados construidos con concreto ligero son mas livianos para manipularlos.

Entre las desventajas se pueden citar:

- Requieren un mayor contenido de cemento por la alta absorción del agregado, lo que redunda en el costo y en el alto calor de hidratación que se produce.
- Su módulo de elasticidad es mas bajo, entre 105000 y 176000 kg/cm^2, y como consecuencia las deformaciones son mayores.
- Su costo se ve incrementado porque hay que producir los agregados y además porque demanda mayor cantidad de cemento.

Concreto preesforzado

Tiene como finalidad eliminar los esfuerzos de tensión del concreto, introduciendo esfuerzos artificiales de compresión antes de aplicar la carga real, de tal forma que ésta sea soportada por el elemento estructural en su campo de compresión.

Los concretos preesforzados se utilizan en estructuras sometidas a flexión, especialmente.

El concreto preesforzado ofrece algunas ventajas, entre ellas:

- Mejor comportamiento de la estructura ante solicitudes dinámicas y mayor durabilidad.
- Disminución en el acero de refuerzo.
- Aumento en la luz libre permisible, lo que disminuye el peso.

El preesfuerzo se puede realizar de dos formas:

El pretensado que consiste en tensar el acero entre dos amarras antes de colocar el concreto, así el acero alargado queda embebido en el concreto cuando éste haya endurecido se suelta, entonces el acero tiende a contraerse para llegar a su longitud inicial, pero se lo impide la adherencia con el concreto por lo cual se crean esfuerzos de compresión en el hormigón.

El postensado, se hace una vez el concreto ha endurecido.

Concreto compactado con rodillo

Llamado también concreto R.C.C, se empezó a utilizar a partir de los años sesenta.

El R.C.C se caracteriza porque tiene un asentamiento mínimo o nulo tiene y el consumo de cemento varía entre 100 y 150 kg/m^3, de los cuales hasta un 30% puede reemplazarse por cenizas volantes (Fly ash).

La diferencia de este concreto frente al convencional radica en que el R.C.C se compacta con rodillos lisos o vibratorios, como los que se usan en la compactación de los materiales de las presas de tierra, las mezclas son muy secas y se pueden transportar en los equipos de acarreo de materiales corrientes, la mezcla se extiende en capas con tractores de oruga y luego se compacta con rodillo.

El principal uso del concreto compactado es en presas, terminales de buses y camiones, hangares de aeropuerto y vías secundarias con velocidad de tránsito bajas.

Las ventajas de este concreto son entre otras:

- Reduce los costos hasta en un 30% por el bajo contenido de cemento.
- Se pueden utilizar los equipos convencionales de construcción, tales como, mezcladoras, volquetas para transportar la mezcla, vibrocompactadores de rodillo liso, etc.

- Reduce el tiempo de construcción.

La resistencia del R.C.C está directamente relacionada con su densidad.

Para alcanzar una buena resistencia, durabilidad y baja permeabilidad, es necesario alcanzar una compactación alta, pero nunca se debe sobre-compactar.

Los agregados del R.C.C deben tener una buena gradación, con tamaños máximos de 22 mm (7/8") para reducir problemas de segregación.

Se recomienda un contenido de finos entre 5 y 10%, el material debe ser duro, de cantera o de río.

La compactación debe realizarse entre 45 y 90 minutos después de que el agua, en un contenido entre el 5 y 5.5% del peso total, haya sido mezclada con los agregados y el cemento.

Para la compactación se extiende la mezcla en capas delgadas, menores de 6" de espesor y se debe compactar a bajas amplitudes de vibración.

Propiedades típicas del RCC endurecido

- compresión — este parámetro depende de las características de los agregados, el cemento y el contenido de agua, asi como de la eficiencia en la compactación.

- tensión — varía entre 7% y el 13% de la resistencia a la compresión y es función de la calidad del agregado y el contenido del cemento porque depende de la cohesión de la pasta y el angulo interno de fricción del agregado. La resistencia minima al corte se presenta en las juntas de construcción y en la superficie de contacto de las capas sucesivas.

Las diferencias entre las propiedades de RCC endurecido y el concreto convencional obedecen básicamente a las diferencias en las proporciones de la mezcla, la granulometria y el contenido de vacíos. Por lo general las mezclas de RCC se producen con agregados de menores especificaciones que aquellos utilizados en la elaboración del concreto convencional, su contenido de cemento es mas bajo.

Concreto vaciado por tubo-embudo (TREMIE)

La colocación de concreto por el método de tubo-embudo (Tremie), es la que más frecuentemente se usa para vaciar concreto bajo agua o en cimentación profundas.

En términos generales, el procedimiento consiste en aprovechar el principio físico de los vasos comunicantes que caracteriza a los fluidos. La colocación suele ser alimentada por gravedad, desde arriba de la superficie del agua (o de los lodos bentoníticos empleados en el vaciado de pilotes "in situ"), por un tubo vertical conectado a una tolva en forma de embudo en la parte superior. El concreto fluye por el tubo-embudo hacia fuera desde el fondo del tubo, empujando la masa hacia fuera y hacia arriba.

Cuando las paredes de la excavación profunda no tienen la suficiente estabilidad, se deberán llenar con bentonita, un lodo de mayor densidad que el agua, el cual desplaza y garantiza una nivelación de las presiones sobre el terreno para evitar derrumbes. Esta bentonita tiene la particularidad de no contaminar el concreto, pues este es de mayor densidad; luego de tener la excavación llena de bentonita, se procede a introducir el tubo Tremie y vaciar el concreto de abajo hacia arriba evitando el lanzarlo. A medida que el concreto llena la excavación, desplaza la bentonita. Esta puede ser reutilizable en parte si el terreno adyacente no es muy contaminante a juicio de la interventoría.

Las características especiales de este tipo de concreto, radican en una alta fluidez, por la necesidad de que la mezcla fluya a su lugar lentamente, por gravedad, sin vibración y sin ayuda mecánica. Por ello, las mezclas deben diseñarse para un asentamiento de 15 a 23 cm. Generalmente, se emplea grava redonda natural en lugar de roca triturada, por las necesidades de fluidez. Al igual que en el concreto de bombeo, el tamaño máximo de agregado más recomendado es de 40mm (1.5") y la relación arena / agregado total (por volumen) entre 40 y 50% para combinaciones de agregados gruesos y finos bien gradados.

De otra parte, es indispensable el uso de aditivos retardantes y reductores de agua que garanticen la manejabilidad, consistencia y plasticidad del concreto durante el periodo de colocación. El uso de aditivos inclusores de aire y puzolanas también son benéficos para las características del flujo. Para mantener la calidad estructural y mejorar las condiciones de colocación, debe mantenerse la temperatura de la mezcla tan baja como sea posible, generalmente menos de 21.1 °C. Por último, la máxima relación agua – cemento recomendable, para concreto colocado por este sistema, es de 0.44.

Concreto de alta resistencia

El término "concreto de Alta Resistencia" es aplicable al concreto cuya resistencia a la compresión supera los 42 Mpa.

Las pruebas continuas de materiales cementantes (cemento, ceniza, volante y microsilica), aditivos retardantes y reductores de agua de alto rango, agregados muy bien seleccionados y gradados, y un claro entendimiento de la Tecnología del Concreto, han permitido el desarrollo de mezclas óptimas, diseñadas para obtener propiedades específicas, que se han denominado "Concreto de Comportamiento Diseñado". A ellas, pertenece el concreto de alta resistencia.

Con relación a los materiales, el cemento más recomendable, aunque no indispensable, es el cemento Pórtland tipo III. Las puzolanas, que actúan como llenante de los poros existentes entre los granos de cemento de una pasta ya que tienen un diámetro hasta 100 veces menor que las partículas de cemento, y a la vez reaccionan con la cal libre del cemento y con el agua pues tienen los mismos elementos químicos principales del cemento Portland, son la base del diseño de pastas de alta resistencia, porque producen una mejor cementación de la pasta. Las puzolanas pueden ser naturales (formadas por enfriamiento rápido del sílice contenido en la lava de erupciones volcánicas y ricas en óxido de Sílice SiO_2), o artificiales (cenizas volantes obtenidas del filtrado de los humos de centrales térmicas, y humo de sílice o microsílice obtenidas del filtrado de los humos de hornos de producción de sílice o silicatos metálicos).

De otra parte, los aditivos superplastificantes permiten reducir la relación agua – cemento hasta un valor cercano al mínimo teórico de hidratación del cemento (0.27), y a la vez dispersar homogéneamente la puzolana y el cemento, obteniéndose un incremento significativo de la resistencia sin sacrificar la condiciones de fluidez requeridas para una buena colocación y compactación.

Por último, conviene mencionar que por razones económicas y debido a que los elementos de concreto de alta resistencia no son cargados sino hasta varios meses después de haber sido colocado el concreto, las resistencias finales se especifican a 56 ó 90 días de edad.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGO T., Jesús Humberto. *Control de calidad del concreto.* Seminario sobre la Norma ACI-318-77.

BALADO GARCÍA, Juan F. Método para la dosificación de hormigones.Segunda Edición. 1963.

FERNANDEZ Rosalba. *Materiales estructurales en las obras civiles.* Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil. Popayán, 1992.

GALVIS RAMOS, Josué. *Diseño de mezclas de concreto y mortero para la ciudad de Manizales.* Informe de Investigación. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 1988.

GUTIERREZ DE LOPEZ, Libia. *Análisis de las características de los agregados para concretos y morteros en Manizales.* Trabajo de promoción. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.1983.

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. ICPC. *Curso sobre diseño de mezclas de concreto.* Medellín.1980.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVÍAS. *Normas en ensayo para materiales de carreteras.* Volumen 1,2,3,4.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Volumen 1,2.

Me MILLAN, F.R y TUTHILL, Lewis. *Cartilla del concreto.* Instituto mexicano del cemento y del concreto. A.C. 1982.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero.* Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1987.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Curso *Concretos hidráulicos especiales.* Popayán 1992.

SANDINO PARDO, Alejandro; RODRIGUEZ, Carlos Alberto; GÓMEZ CORTÉS, Jose Gabriel; NARANJO VILARO, Ricardo. *Tecnología del concreto.* Bogotá. 1988.