

# CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO EN OBRA



# Introducción

El concreto es una masa endurecida de materiales heterogéneos con propiedades sujetas a una gran cantidad de variables que dependen de los materiales que lo constituyen y de los procedimientos de producción, transporte y colocación del concreto. Por esta razón, es importante la elaboración y el cumplimiento de un plan de control de calidad para el concreto y los materiales que lo componen, con el fin de predecir las propiedades del concreto en estado endurecido y garantizar que se cumpla con las especificaciones y requerimientos previamente definidos al menor costo posible.

El control de calidad se define como el conjunto de operaciones y decisiones que se toman con el propósito de cumplir el objeto de un contrato y comprobar el cumplimiento de los requisitos exigidos, para ello se deben verificar los procedimientos relacionados con las Normas Técnicas Colombianas y con el Código Sismo Resistente (NSR 98).

El concreto posee un aspecto propio que lo distingue de los demás productos manufacturados. El principal parámetro para definir su calidad es la resistencia a la compresión la cual se establece a los 28 días de edad, lo que constituye un inconveniente para el control, porque mientras se obtiene dicho resultado, las obras siguen su curso normal y los datos que se obtienen respecto a la resistencia del concreto son extemporáneos. Por este motivo, el control de calidad debe tener un carácter preventivo y no curativo, en consecuencia dicho control no se debe limitar a la verificación de las propiedades en estado endurecido, igualmente se deben controlar diferentes características en estado fresco tales como asentamiento, peso unitario, contenido de aire, tiempos de fraguado y temperatura, dichas características permiten anticipar las propiedades del concreto en estado endurecido.



## ELABORACIÓN Y CURADO DE VIGUETAS DE CONCRETO

El ensayo de resistencia a la flexión de especímenes rectangulares y vigas curadas en ambiente húmedo se debe efectuar tan pronto como sea posible después de retirar los elementos de curado. El secado superficial del espécimen produce una reducción de resistencia a la flexión determinada.

### Elaboración de muestras:

**Lugar de elaboración:** Moldee las muestras tan cerca como sea posible del lugar donde van a estar almacenadas durante las primeras 24 h.

**Moldes para vigas y prismas:** Deben tener forma rectangular, además de las dimensiones requeridas para producir el tamaño del espécimen deseado. Las superficies internas de los moldes deben ser lisas y libres de hendiduras. Los lados, base y extremos deben ser perpendiculares entre sí, deben estar rectos, precisos y libres de deformaciones.

**Varilla de compactación:** Cada varilla debe ser una varilla lisa cilíndrica de acero con al menos el extremo de apisonamiento redondeado en forma hemisférica del mismo diámetro de la varilla. Si lo prefiere, ambos extremos pueden ser redondeados.

**Varilla Compactada Larga:** Aproximadamente 600 mm de longitud y diámetro igual a 16 mm.

**Mazos:** Se debe usar un mazo con cabeza de caucho o de cuero que pese 0,20 a 0,60 Kg.

**Vaciado de la viguetas de concreto:** La compactación se hace a través del apisonamiento utilizando la varilla de compactación de 16 mm. El número de golpes por capa se determina de la siguiente manera: una apisonada por 14 cm<sup>2</sup> de área de la cara superior de la viga ejemplo, si la vigueta tiene una longitud de 53 cm y un ancho de 15 cm, la compactación por cada capa es así:  
El área es: 795 cm<sup>2</sup>. Dado que el criterio una apisonada por cada 14 cm<sup>2</sup>, entonces las apisonadas por cada capa serían 57.

Coloque el concreto en el molde en dos capas de igual volumen. Apisone cada capa con la punta redondeada de la varilla utilizando el número apisonadas ya calculado, apisone la vigueta de una manera uniforme. Después de que cada capa ha sido apisonada, golpee ligeramente 10 ó 15 veces con el mazo la parte exterior del molde para cerrar los agujeros que deja el apisonado y para sacar las burbujas de aire atrapadas.

Después de compactar el espécimen, se debe enrasar la superficie para remover el exceso de concreto, utilizando la varilla de compactación o una llana, este acabado se debe realizar con el mínimo de manipulación necesaria para producir una superficie homogénea y lisa a nivel de los bordes del molde.

Inmediatamente después del acabado, se deben tomar una serie de precauciones para evitar la evaporación y pérdida de agua de los especímenes. Las superficies exteriores se deben cubrir con una lámina u hoja no absorbente y no reactiva o con una lámina de plástico impermeable.

Nota aclaratoria de responsabilidad: Las observaciones contenidas en este documento son de carácter informativo y deben ser aplicadas y/o evaluadas por el constructor o usuario solamente en caso de considerarlas pertinentes. Por lo tanto, estas observaciones no comprometen a Argos, a sus filiales o a sus subordinados.

### Curado

El curado de las vigas se debe llevar a cabo de la misma manera que el concreto estructural. El ensayo de las vigas exige lo siguiente; las viguetas se deben almacenar en agua con cal a 23 °C ± 2 °C durante 24 horas ± 4 horas inmediatamente antes del ensayo, para asegurar una condición uniforme de humedad durante el ensayo de flexión.



## CONTENIDO DE AIRE



Este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y formando burbujas entre los componentes del concreto, bien sea porque es atrapado durante el mezclado del concreto o al ser incorporado por medio del uso de agentes inclusores de aire.

El contenido de aire de un concreto sin agentes inclusores está normalmente entre el 1% y 3% del volumen de la mezcla, mientras que un concreto con inclusores de aire puede obtener un contenido de aire que varía entre 4% y 8%.

### Ensayos para determinar el contenido de aire

Las Normas Técnicas Colombianas contienen procedimientos para medir el contenido de aire del concreto en estado fresco, el método de presión NTC 1028 y el método volumétrico NTC 1032.

## ELABORACIÓN Y CURADO DE CILINDROS DE CONCRETO



Los ensayos de compresión del concreto se efectúan para determinar la calidad general del concreto. Cuando varían las condiciones de curado, toma de muestras y métodos de llenado y acabado de las probetas, los resultados obtenidos carecen de valor, porque no determinan cuando una resistencia baja se debe a fallas en la elaboración de las probetas.

**Nota.** Como buena práctica se recomienda humedecer las herramientas que van a estar en contacto con el concreto antes de iniciar el ensayo.

### Elaboración de muestras

Lugar de moldeo: Moldee las muestras tan cerca como sea posible del lugar donde van a estar almacenadas durante las primeras 24 h. Cuando no es posible moldear las muestras donde van a estar almacenadas, se deben llevar inmediatamente al lugar de almacenamiento después de su elaboración. Coloque

los moldes sobre una superficie rígida libre de vibración u otras alteraciones. Durante el transporte evite sacudidas, golpes, inclinaciones ó rallones en la superficie de las muestras.

Colocación (fundida): Coloque el concreto en los moldes utilizando un cucharón o palustre despuntado. Escoja cada cucharada, palustrada o palada de concreto del recipiente de mezclado para asegurar que ésta es representativa de la bachada. Puede ser necesario remezclar el concreto en el recipiente de mezclado con un palustre ó una pala para impedir la segregación durante el moldeo de las muestras. Mueva el cucharón ó el palustre alrededor de la parte superior del molde al descargar el concreto con el fin de asegurar una distribución simétrica y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Distribuya el concreto utilizando la varilla de compactación antes de iniciar la consolidación. El tomador de muestras debe añadir al momento de colocar la última capa, una cantidad de concreto que llene exactamente el molde después de la compactación. No se deben añadir muestras de concreto no representativo a un molde durante el llenado.

Los moldes se deben llenar uniformemente colocando y compactando la primera capa en todos los moldes, después la segunda capa y posteriormente la tercera capa. Cada capa debe ser apisonada uniformemente con una varilla metálica de 16 mm de diámetro y una longitud de 60 cm las apisonadas deben ser 25 por capa. Se deben dar 10 a 15 golpes con un martillo de caucho que tenga una masa entre 200 a 800 g.

Después de la compactación se procede a retirar el concreto sobrante, alisando su superficie. Dicha superficie debe ser manipulada delicadamente para dejar la cara lisa con el fin de cumplir con las tolerancias de acabado.

### Curado de especímenes de concreto

Protección después del acabado: Para evitar la evaporación del agua del concreto sin endurecer, cubra los especímenes inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una lámina no absorbente y no reactiva, o con una lámina de plástico duro, durable e impermeable. Esta permitido el uso de lona húmeda para la protección, pero se debe tener cuidado en mantener la lona húmeda hasta que los especímenes sean removidos de los moldes. Colocar una sábana de plástico sobre la lona facilita la humedad constante.

Remoción de los moldes: Remueva las muestras de los moldes 24 h ± 8 h después de fundidos.

Se debe tener cuidado con el manejo de las probetas. Evite al máximo la vibración y los movimientos violentos durante su transporte porque pueden sufrir daños considerables que afectan la resistencia del concreto.



## ORGANIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD DEL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CUANDO LLEGA A LA OBRA



En el desarrollo de un proyecto de construcción es indispensable que el control de calidad contemple ciertas actividades que se deben realizar en la obra.

- Seleccionar un tomador de muestras de concreto calificado para realizar todos los ensayos de concreto en estado fresco: NTC 454 Toma de muestras de concreto, NTC 3357 Temperatura del concreto fresco, NTC 396. Asentamiento del concreto, NTC 1926 Masa unitaria y rendimiento volumétrico y NTC 550 Elaboración y curado de especímenes de concreto.
- Eligir de un laboratorio idóneo.
- Seguir procesos de calidad debidamente documentados.

## CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Como se ha mencionado, el control de calidad del concreto debe ser más preventivo que curativo, por tanto es de vital importancia la realización de ensayos al concreto en estado fresco, con los que se busca garantizar el cumplimiento de las especificaciones en estado endurecido. Los principales ensayos que se deben realizar son:

- Temperatura del concreto
- Trabajabilidad o manejabilidad
- Segregación
- Exudación o sangrado
- Masa unitaria y rendimiento volumétrico
- Tiempo de fraguado del concreto
- Contenido de aire
- Elaboración y curado de especímenes de concreto

Las propiedades del concreto en obra no pueden ser obtenidas directamente del concreto en estado fresco, debido a que las características de los elementos estructurales del concreto se ven afectadas por las prácticas constructivas en la obra. Sin embargo, el control de calidad en estado fresco es la única herramienta para tomar decisiones rápidas durante la colocación de concreto.

## TEMPERATURA DEL CONCRETO

El concreto se rigidiza luego de ser mezclado y después de cierto tiempo, este fenómeno no se debe confundir con el fraguado del cemento. Durante el proceso de rigidización el agua de mezclado se pierde, porque los agregados absorben parte ella y se evapora, especialmente cuando el concreto esta expuesto al sol y al viento. La parte restante es eliminada por las reacciones químicas iniciales.

Más importante aún que la temperatura ambiente es la temperatura del concreto, debido a que ésta controla las reacciones químicas que se producen en la mezcla y por tanto modifica las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. La norma NTC 3357 fija los límites de la temperatura del concreto fresco. La medición de la temperatura se hace al momento de recibir el concreto en la obra, mientras se coloca. La medición es realizada por medio de termómetros de vidrio o corazas, que deben tener una precisión de 1°C, los cuales deben ser introducidos dentro de la muestra representativa por un mínimo de dos minutos o hasta que la lectura se estabilice. Asimismo es posible determinar la temperatura mediante medidores electrónicos de temperatura con pantallas digitales de precisión.

## TRABAJABILIDAD O MANEJABILIDAD

Es la capacidad del concreto que le permite ser colocado y compactado apropiadamente sin producir segregación alguna.

**Trabajabilidad:** Está representada por el grado de compatibilidad, cohesividad, plasticidad y consistencia.

**Compatibilidad:** Facilidad que posee el concreto para ser compactado o consolidado con el fin de reducir el volumen de vacíos y el aire atrapado.

**Cohesividad:** Aptitud que posee el concreto para mantenerse como una masa estable sin segregación.

**Plasticidad:** Condición del concreto que permite su deformación continua sin romperse.

**Consistencia:** Habilidad del concreto fresco para fluir, eso significa que posee la capacidad de adquirir la forma de los encofrados que lo contienen y de llenar los espacios vacíos alrededor de elementos embebidos.

## ENSAYOS PARA DETERMINAR LA TRABAJABILIDAD

Propiedades tales como cohesión y adhesión determinan el grado de trabajabilidad. Dichas propiedades se evalúan mediante examen visual y manipulación del concreto con herramientas para dar acabados, debido a que hasta el momento no se conoce ninguna prueba capaz de hacer mediciones directas. Sin embargo se ha desarrollado una serie de ensayos con los cuales se puede determinar o correlacionar las propiedades del concreto en estado plástico en términos de consistencia, fluidez, cohesión y grado de compactación, entre otras.



## ENSAYO DE ASENTAMIENTO

El asentamiento es una medida de la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica que tan seca o fluida se encuentra en estado plástico y no constituye por sí mismo una medida directa de la trabajabilidad.

Las características del cono de Abrams se presentan en la figura 1. El método de ensayo descrito en la norma NTC 396 en términos generales consiste en lo siguiente:



Fig.1



Es recomendable colocar el molde sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente, presionando con los pies las agarraderas para que el concreto no salga por la parte inferior del molde. Enseguida, se procede a llenar el cono en tres capas, cada una de igual volumen, apisonando cada capa con 25 golpes propiciados con una varilla de 16 mm de diámetro, 60 cm de longitud y con al menos uno de sus extremos redondeado. La introducción de la varilla se debe hacer en diferentes sitios de la superficie, con una profundidad tal que penetre ligeramente en la capa inferior con el objeto de distribuir uniformemente la compactación sobre la sección transversal.

Al terminar la tercera capa, enrasar la superficie con varilla o palustre. Luego proceda a retirar la mezcla que haya caído al suelo en la zona adyacente a la base del molde. Posteriormente se debe levantar el cono cuidadosamente en dirección vertical, sin movimientos laterales o de torsión, sin tocar la mezcla con el molde una vez separado del concreto.

Una vez retirado el molde, la muestra sufre un asentamiento, que se mide inmediatamente como la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro de la base superior del espécimen.

El ensayo de asentamiento está ampliamente difundido en nuestro medio debido a la facilidad y rapidez con que se realiza, sin embargo, no aplica cuando se presentan concretos muy secos con asentamiento inferior a 10 cm y concretos elaborados con agregados livianos.

## SEGREGACIÓN

Un aspecto importante de la trabajabilidad que generalmente se considera como otra propiedad, es la tendencia a la segregación, la cual se define como la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de mortero en el perímetro del concreto colocado, debido a falta de cohesividad, de tal manera que su distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo. En consecuencia, la ausencia de segregación es una condición implícita del concreto con el fin de mantener una trabajabilidad adecuada.

Las principales causas de segregación en el concreto son la diferencia de densidades entre sus componentes, el tamaño y forma de las partículas y la distribución granulométrica. Asimismo influyen otros factores tales como mezclas deficientes, sistemas de transporte inadecuados, colocación defectuosa y exceso de vibración en la compactación.

La segregación se puede presentar de dos formas. La primera ocurre al utilizar mezclas pobres y secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse porque se desplazan a lo largo de una pendiente o se asientan más que las partículas finas. La segunda forma se presenta particularmente en mezclas húmedas y se manifiesta por la separación de una parte de los agregados.

## EXUDACIÓN

Es una forma de segregación o sedimentación, en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado. Esto se debe a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación del concreto está influenciada por las proporciones de la mezcla y de los materiales, el contenido de aire, forma y textura de los agregados, al igual que la calidad del cemento y el uso de los aditivos.

Cuando la exudación del concreto se presenta frecuentemente se convierte en un fenómeno poco deseable, especialmente a la hora de bombear y dar acabados al concreto, adicionalmente trae consecuencias como el debilitamiento, mayor porosidad, menor resistencia a la abrasión y ataque de agentes agresivos presentes en el medio ambiente.

## MASA UNITARIA Y RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO

El concreto se debe dosificar por peso y suministrar por volumen, por tanto es importante determinar la masa unitaria del concreto para calcular el volumen o el rendimiento volumétrico producido por los pesos conocidos de cada uno de los materiales que lo constituyen y para determinar el contenido de cemento por metro cúbico de concreto. El procedimiento de ensayo se describe en la norma NTC 1926.

Adicionalmente el concreto se puede utilizar en función de sus características de peso para ciertas aplicaciones, por ejemplo como contrapeso de puentes elevadizos y puentes colgantes, de la misma manera para hundir tuberías bajo el agua, por lo anterior es importante determinar su masa unitaria.

## DEFINICIONES

### Masa Unitaria:

Se define como la cantidad de masa por unidad de volumen y se expresa en  $\text{kg/m}^3$ .

### Rendimiento Volumétrico:

Se define como la relación existente entre el volumen de concreto producido y el volumen de diseño de la mezcla.

La masa unitaria del concreto convencional y del concreto en general, depende de la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido, asimismo de la cantidad de agua y cemento contenidos en la mezcla de concreto. Los valores típicos de masa unitaria varían entre 2200 a 2400  $\text{kg/m}^3$ .

## CÁLCULO DE LA MASA UNITARIA Y RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO

De acuerdo con la norma NTC 1926 y su procedimiento de ensayo, a continuación se presentan los cálculos relacionados en ella:

**Masa unitaria:** Donde:  
 $M = \frac{Mnc}{Vm}$   
 M = masa unitaria del concreto en  $\text{kg/m}^3$   
 Mnc = masa neta del concreto en kg  
 Vm = volumen del molde usado  $\text{m}^3$

### Rendimiento volumétrico:

Donde:  
 $Y = \frac{M_1}{M}$   
 Y = volumen de concreto producido o mezclado por bachada ( $\text{m}^3$ )  
 W1 = masa total de todos los materiales de la bachada en kg  
 W = masa unitaria del concreto en  $\text{kg/m}^3$

### Rendimiento relativo:

Donde:  
 $R_y = \frac{Y}{Y_d}$   
 Ry = Rendimiento relativo  
 Y = volumen de concreto producido o mezclado por bachada ( $\text{m}^3$ )  
 Yd = volumen de concreto teórico de diseño en  $\text{m}^3$

### Contenido de cemento:

Donde:  
 $N = \frac{N_t}{Y}$   
 N = Contenido real de cemento en  $\text{kg/m}^3$   
 Nt = masa de cemento empleado en la mezcla o bachada en kg  
 Y = volumen de concreto producido o mezclado por bachada ( $\text{m}^3$ )

### Contenido de aire:

Para este cálculo se pueden utilizar cualquiera de las siguientes expresiones:

$$A = \frac{(T - M)}{T} = 100 \quad \text{ó} \quad A = \frac{(Y - V)}{Y} = 100$$

Donde:  
 A = contenido de aire o porcentaje de vacíos en el concreto  
 T = masa teórica del concreto asumiendo la ausencia de aire, en  $\text{kg/m}^3$   
 Y = volumen de concreto producido o mezclado por bachada ( $\text{m}^3$ )  
 V = volumen total absoluto de los componentes de la bachada en  $\text{m}^3$

Con el objetivo de tomar decisiones acertadas, es de vital importancia entender los resultados que se obtienen de los cálculos anteriores, tanto para el productor de concreto como para el consumidor.

En la práctica, se debe entender que el volumen del concreto después de fraguado parece ser menor que el esperado por causa de factores como desperdicio, separaciones, irregularidades en el terreno, deformaciones en la formaleta, pérdida de aire incluido o asentamiento de la mezcla. Por tanto es indispensable calcular con precisión el volumen necesario de concreto a utilizar en la obra. Con base en lo anterior, se recomienda asumir un porcentaje de desperdicio con el fin de evitar faltantes de volumen durante la ejecución de la obra.

## FRAGUADO DEL CONCRETO

El fraguado del concreto corresponde al proceso de endurecimiento de la mezcla de concreto, donde se experimenta una transición de estado plástico a estado endurecido bajo ciertas condiciones de tiempo y temperatura.

El tiempo de fraguado es un valor arbitrario que se ha tomado durante el proceso de endurecimiento del concreto. La norma NTC 890 describe el procedimiento para su cálculo.

Se han definido dos medidas del fraguado del concreto, fraguado inicial y fraguado final. A continuación se explica cada una de ellas.

### Fraguado inicial del concreto

El fraguado inicial corresponde al punto en el cual el concreto deja de ser un material blando para convertirse en un cuerpo rígido pero frágil. De acuerdo con la norma NTC 890, el fraguado inicial se da cuando una muestra de mortero (concreto tamizado por la malla No. 4) ofrece una resistencia a la penetración de 35  $\text{kg/cm}^2$ .

### Fraguado final del concreto

El fraguado final corresponde al punto máximo de liberación de calor como manifestación de la reacción química entre el agua y el cemento, en este momento el concreto comienza la etapa de endurecimiento. De acuerdo con la NTC 890 el fraguado final se da cuando una muestra de mortero (concreto tamizado por la malla No. 4) ofrece una resistencia a la penetración de 280  $\text{kg/cm}^2$ .

El tiempo de fraguado influye en otras propiedades del concreto, como la manejabilidad y la resistencia, por lo tanto su determinación es importante para definir la utilización de aditivos que controlan la velocidad de fraguado (retardantes o acelerantes), con el fin de regular los tiempos de mezclado, transporte y colocación del concreto, de tal forma que no afecten la manejabilidad o la resistencia del concreto.

