

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

192: 2007

**HORMIGÓN HIDRÁULICO — CÁLCULO DE LA RESISTENCIA
CARACTERÍSTICA REAL A LA COMPRESIÓN**

Concrete—Real Characteristic Compression Strength Calculation

ICS: 91.100.30

2. Edición Noviembre 2007
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 37 de Hormigón, Hormigón Reforzado y Morteros en el que están representadas las entidades siguientes:
 - Ministerio de la Construcción
 - Dirección de Desarrollo
 - Dirección de Normalización
 - Centro de Información
 - Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
 - Empresa de Prefabricados No. 2
 - Empresa de Tecnologías Industriales de la Construcción (TICONS)
 - Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción (CTDMC)
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
 - Grupo Industrial Perdurit
 - Centro Técnico para la Vivienda y el Urbanismo (CTVU)
 - Oficina Nacional de Normalización
- Sustenta su revisión en algunos arreglos necesarios y en las modificaciones de denominaciones y simbología de los parámetros establecidos en la NC 120:2007.
- Sustituye a la NC 192:2005 "Hormigón hidráulico. Cálculo de la resistencia característica real a la compresión"

© NC, 2007

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

HORMIGÓN HIDRÁULICO — CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA REAL A LA COMPRESIÓN

1 Objeto

Esta Norma Cubana establece el método para calcular la resistencia característica real a la compresión del hormigón hidráulico y el procedimiento para evaluar la uniformidad del lote.

La caracterización de un lote de hormigón requiere la evaluación de los parámetros siguientes:

- Resistencia característica a la compresión del lote (f_{ck})
- Desviación típica del lote (S_n)
- Coeficiente de variación interno del ensayo (V_1)

2 Referencias normativas

Los documentos que se mencionan seguidamente son indispensables para la aplicación de esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, sólo se toma en consideración la edición citada. (Incluyendo todas las enmiendas).

NC 207:2003 Requisitos generales para el diseño y construcción de las estructuras de hormigón

NC 120:2007 Hormigón hidráulico. Especificaciones

3 Términos y definiciones

3.1 Probeta de hormigón

Elemento que se utiliza para efectuar los ensayos de conformidad de los lotes de hormigón. Tiene forma cilíndrica con altura nominal igual a dos veces el diámetro. Las más utilizadas son las de 150 mm x 300 mm y las de 100 mm x 200 mm. Son fabricadas y conservadas cumpliendo requerimientos normativos, hasta el momento del ensayo de rotura a compresión.

3.2 Serie de probetas

Grupo de probetas que se extraen de una misma muestra, representativa de una amasada de hormigón. Son conservadas en iguales condiciones y ensayadas a una misma edad

3.3 Amasada

Porción de mezcla de hormigón que se prepara de una sola vez.

3.4 Lote de hormigón

Volumen de hormigón de igual o semejante dosificación y materiales componentes. Es confeccionado y puesto en obra en condiciones sensiblemente iguales y sometido a juicio una sola vez.

4 Preparación de las probetas

La probeta normalizada para los ensayos de resistencia a compresión es la probeta cilíndrica (ver 3.1). Es importante tener en cuenta que la data para el análisis de la resistencia característica real a la compresión siempre tiene que estar constituida por resultados provenientes de un solo tipo de probetas.

4.1 Cantidad de probetas a elaborar

Cada serie de probetas tendrá tres unidades y como mínimo dos sólo para el caso de los trabajos de laboratorio.

A pie de obra por lo general es suficiente obtener de cada amasada dos series de probetas, una para ensayar a los 3 ó 7 días y otra para ensayar a los 28 días, no obstante, para una amasada, es factible obtener tantas series de probetas como edades se deseen ensayar, siempre y cuando representen información de interés para un fin específico.

5 Cálculo de la resistencia. Característica real a la compresión del hormigón

5.1 La resistencia a la compresión de cada una de las probetas ensayadas (f_{ci}) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$f_{ci} = \frac{F}{A} 10 \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

donde:

F: Carga de rotura (kN);

A: Área de la sección transversal de la probeta (cm²).

Es conveniente anotar los valores de f_{ci} obtenidos en orden descendente, o sea $f_{c1} > f_{c2} > f_{c3}$

No se rechazarán indiscriminadamente aquellos valores de la resistencia individual de las probetas que parezcan estar dispersos. Cuando la probeta se reconozca como defectuosa (con presencia de oquedades, grietas, caras no paralelas, entre otros) se harán las anotaciones correspondientes en las observaciones del ensayo

5.2 La resistencia a compresión de la serie de probetas se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$f_{cs} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

donde:

n: número de probetas de la serie.

5.3 El recorrido de la serie de probetas se calcula como la diferencia entre el valor mayor de resistencia a compresión de las probetas de la serie menos el valor menor. Si las probetas se han ordenado adecuadamente en el registro, según se indica en 6.1.1, entonces:

$$R_i = f_{c1} - f_{c3} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

- 5.4 La resistencia media a la compresión del hormigón del Lote (f_{cm}) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^m f_{cs}}{m} \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

donde:

m: número de series del Lote.

- 5.5 El valor del recorrido medio del Lote de hormigón (\bar{R}) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (\text{MPa}) \quad (5)$$

- 5.6 La desviación típica interna del ensayo se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$S_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R} \quad (\text{MPa}) \quad (6)$$

donde:

1/d₂: Constante que depende del número de probetas promediadas en una serie (Ver la Tabla 1)

Tabla 1 — Valor de la constante 1/d₂

| Cantidad de probetas | Valor de 1/d ₂ |
|----------------------|---------------------------|
| 2 | 0.8865 |
| 3 | 0.5967 |

- 5.7 El coeficiente de variación interno del ensayo (Within Test) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$V_1 = \frac{S_1}{f_{cm}} 100 \quad (\%) \quad (7)$$

Los valores límites de V_1 para diferentes grados de control se muestran en la Tabla 2. Este coeficiente permite evaluar la calidad del ensayo y el nivel de control en la preparación de las probetas, tanto a pie de obra, en las plantas preparadoras, como en la confección de mezclas de prueba en el laboratorio.

Tabla 2 — Valores de V_1 para diferentes grados de control

| Tipo de Operación | Valor de V_1 en % para diferentes grados de control | | | | |
|--|---|-----------|-------|-----------|-------------|
| | Excelente | Muy Bueno | Bueno | Aceptable | Deficiente |
| Control de Campo (a pie de obra o en planta) | Menor que 3 | 3 a 4 | 4 a 5 | 5 a 6 | Mayor que 6 |
| Mezclas de prueba en el laboratorio | Menor que 2 | 2 a 3 | 3 a 4 | 4 a 5 | Mayor que 5 |

Los resultados evaluados como Aceptables y Deficientes requieren la toma de medidas inmediatas que impliquen la revisión de los procedimientos de preparación de las probetas, su curado y forma de transportación al laboratorio y de los métodos y procedimientos de ensayo de rotura a compresión.

5.8 La desviación típica del Lote se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$S_n = \sqrt{\sum_{s=1}^m \frac{(f_{cs} - f_{cm})^2}{m-1}} \quad (\text{MPa}) \quad (8)$$

La S_L refleja las variaciones entre amasadas de hormigón, o lo que es lo mismo, entre las series de probetas. Estas variaciones son debidas fundamentalmente a las variaciones propias de las características y propiedades de los materiales componentes del hormigón, a las variaciones en la dosificación, el mezclado y el muestreo e incluyen la desviación típica interna del ensayo, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$S_n^2 = S_1^2 + S_2^2 \quad (\text{MPa}) \quad (9)$$

donde:

S_2 : desviación típica de amasada a amasada, sin incluir las variaciones internas del ensayo (Within Test)

5.9 Evaluación de los valores anormales de la resistencia a la compresión, de los valores individuales y de las series de probetas

La comprobación de la anormalidad en los valores de la resistencia a compresión, se realizará para los valores extremos, o sea tanto para los muy bajos, como para los muy altos

Los valores anormales de la f_{ci} se evalúan comparando el valor individual que resulte sospechoso con el valor promedio de la serie f_{cm} a que corresponde. Si el valor absoluto de la diferencia entre ambos valores es mayor que $3 S_n$, se recomienda rechazar dicho valor individual.

La anormalidad de los valores de resistencia a compresión de las series, se analiza cuando existen deficiencias en la calidad de la probeta o si el valor sospechoso o muy desviado es provocado por factores ajenos, condiciones anormales o errores de ensayo y medición. En estos casos, a partir de los datos de resistencia media f_{cm} y la desviación típica del lote S_n , se halla el valor del estadígrafo t_n , mediante la siguiente fórmula:

$$t_n = \frac{|f_{c1} - f_{cm}|}{S_n} \quad (10)$$

donde:

f_{c1} : Valor de la serie que se considera anormal (MPa).

El valor de t_n se compara con el valor límite “h” dado en la Tabla 3, en función de la población de series que se analizan, para un nivel de significación del 5%. Si se cumple que $t_n > h$ el f_{c1} es anormal y debe ser excluido.

Tabla 3 — Valores de h para un nivel de significación del 5%

| Población de Series | h | Población de Series | h | Población de Series | h |
|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| 3 | 1.15 | 12 | 2.29 | 25 * | 2.87 |
| 4 | 1.46 | 13 | 2.33 | 30 * | 2.93 |
| 5 | 1.67 | 14 | 2.37 | 40 * | 3.02 |
| 6 | 1.82 | 15 | 2.41 | 50 * | 3.08 |
| 7 | 1.94 | 16 | 2.44 | 100 * | 3.28 |
| 8 | 2.03 | 17 | 2.48 | 250 * | 3.53 |
| 9 | 2.11 | 18 | 2.50 | 500 * | 3.70 |
| 10 | 2.18 | 19 | 2.53 | - | - |
| 11 | 2.23 | 20 | 2.57 | - | - |

* Para valores intermedios a los indicados se podrá interpolar

Una vez eliminados los valores anormales (individuales y de series), es imprescindible recalcularse la resistencia media a compresión del hormigón del Lote por la fórmula 3 y la desviación típica del Lote por la fórmula 7.

5.10 La resistencia característica del lote se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,34 \cdot S_n \quad (\text{MPa}) \quad (11)$$

donde:

1,34: Valor de Z para una fracción defectuosa permisible aproximadamente del 10%

La expresión (11) sólo puede aplicarse cuando se cuente con 15 o más valores de medias muestrales. En el caso de poblaciones más pequeñas la expresión de la resistencia característica del Lote será:

$$f_{ck} = f_{cm} - t \cdot S_n \quad (\text{MPa}) \quad (12)$$

donde:

t: Percentil de Student para un nivel de confianza del 90%, cuyos valores, en función de los grados de libertad “v” se indican en la Tabla 4. Donde (v = n – 1) o sea la población de series menos 1.

Aunque los valores del percentil de Student permiten trabajar con una población de 2 series muestrales, la población muestral mínima para la determinación de la f_{ck} será de 6. Se obtendrán resultados más confiables con una población de 15 o más series muestrales.

Tabla 4 — Valores del percentil t de Student para un nivel de confianza del 90%

| Grados de libertad ν | t | Grados de libertad ν | t | Grados de libertad ν | t |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 1 | 3,078 | 12 | 1.356 | 23 | 1.319 |
| 2 | 1,886 | 13 | 1.350 | 24 | 1,318 |
| 3 | 1.638 | 14 | 1.345 | 25 | 1.316 |
| 4 | 1.533 | 15 | 1.341 | 26 | 1.315 |
| 5 | 1.476 | 16 | 1.337 | 27 | 1.314 |
| 6 | 1.440 | 17 | 1.333 | 28 | 1.312 |
| 7 | 1.415 | 18 | 1.330 | 29 | 1.311 |
| 8 | 1.397 | 19 | 1.328 | 30 | 1.310 |
| 9 | 1.383 | 20 | 1.325 | 40 | 1,303 |
| 10 | 1.372 | 21 | 1.323 | 60 | 1,296 |
| 11 | 1.363 | 22 | 1.321 | 120 | 1,289 |

6 Determinación de la fracción defectuosa real obtenida

La fracción defectuosa real obtenida, o sea el porcentaje de los valores de resistencia a compresión de las series, que son inferiores a la resistencia característica del hormigón especificada por el proyecto (f_{ck}), se puede determinar directamente de un examen de la población de las series, o se puede calcular si se cuentan con más de 15 valores de series muestrales, mediante la fórmula siguiente:

$$Z = \frac{f_{cm} - f_{ck}}{S_n} \quad (13)$$

En la Tabla 5 se puede apreciar la fracción defectuosa obtenida en %, en dependencia del valor de Z calculado por la fórmula 11.

Tabla 5 — Valores de fracción defectuosa para diferentes valores de Z

| Z | Fracción defectuosa % | Z | Fracción defectuosa % | Z | Fracción defectuosa % |
|-----|-----------------------|------|-----------------------|------|-----------------------|
| 0.1 | 46.0 | 1.10 | 13.6 | 2.10 | 1.8 |
| 0.2 | 42.1 | 1.20 | 11.5 | 2.20 | 1.4 |
| 0.3 | 38.2 | 1.30 | 9.7 | 2.30 | 1.1 |
| 0.4 | 34.5 | 1.40 | 8.1 | 2.40 | 0.8 |
| 0.5 | 30.9 | 1.50 | 6.7 | 2.50 | 0.6 |
| 0.6 | 27.4 | 1.60 | 5.5 | 2.60 | 0.45 |
| 0.7 | 24.2 | 1.70 | 4.5 | 2.70 | 0.35 |
| 0.8 | 21.2 | 1.80 | 3.6 | 2.80 | 0.25 |
| 0.9 | 18.4 | 1.90 | 2.9 | 2.90 | 0.19 |
| 1.0 | 15.9 | 2.00 | 2.3 | 3.00 | 0.13 |

7 Evaluación de la uniformidad del hormigón

El grado de uniformidad o de control obtenido en la producción del hormigón, se evalúa a partir de la comparación de la desviación típica del Lote (S_n) y los valores indicados en la Tabla 6, que se empleará tanto para la producción del hormigón a pie de obra o en planta preparadora, así como durante la confección de mezclas de prueba en el laboratorio.

Tabla 6 — Valores de la S_n para diferentes grados de control

| Tipo de Operación | Valor de S_L (MPa) con diferentes grados de control | | | | |
|---|---|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | Excelente | Muy Bueno | Bueno | Aceptable | Deficiente |
| Control de Campo (A pie de obra o planta) | Menor que 2.81 | 2.82 a 3.52 | 3.53 a 4.22 | 4.23 a 4.92 | Mayor que 4.92 |
| Mezclas de prueba en el laboratorio | Menor que 1.41 | 1.42 a 1.76 | 1.77 a 2.11 | 2.12 a 2.46 | Mayor que 2.46 |

La evaluación del grado de uniformidad del hormigón se medirá como:

- “Excelente” para el control de campo, que debe garantizar la producción de hormigón en plantas de prefabricado y además en plantas centralizadas de hormigón premezclado con sistema de dosificación automático
- “Muy Bueno” para el control de campo que debe corresponder a plantas dosificadoras gravimétricas con sistema de control manual
- “Bueno” para el control de campo que debe caracterizar a la producción de hormigón a pie de obra en hormigoneras estacionarias con medición volumétrica de los materiales

En cualquier caso los resultados evaluados como “Aceptables” o “Deficientes”, requieren la toma de medidas inmediatas para mejorar el grado de control en la producción del hormigón.

Los criterios anteriormente analizados, conjuntamente con los valores de la desviación típica de la Tabla 6, permiten asumir un valor de S_n para determinar la resistencia media de diseño de una dosificación de hormigón, siempre que no exista una estadística anterior que sea confiable, como es el caso de la producción inicial, y se calculará mediante la fórmula siguiente:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,34 S_n \quad (\text{MPa}) \quad (14)$$

8 Criterio de conformidad del lote de hormigón

Los dos criterios de conformidad para la aceptación de un Lote de hormigón por su resistencia a compresión, tanto para la producción inicial, como continua, están indicados en la NC 120.

Si el lote de hormigón no cumple con el criterio de conformidad será rechazado y se procederá de acuerdo a lo establecido en la NC 207.

Bibliografía

- [1] EUA, Código de Buena Práctica ACI 214-77 Reaprobada en 1997 “Práctica recomendada para la evaluación de la resistencia del hormigón”
- [2] Cuba, “Elementos de estadística y diseño de experimentos en la tecnología del hormigón. Editorial MICONS 1997. Howland Albear J.J.