

NOTAS TÉCNICAS

CONTROL DE CALIDAD EN EL HORMIGÓN

CONTROL POR RESISTENCIA

PARTE II



**INSTITUTO ECUATORIANO DEL
CEMENTO Y DEL CONCRETO**

© **INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO - INECYC**
Primera Edición: 2009

Fuente: Nota Técnica escrita por el Ing. José A. Camposano L.
Socio Adherente del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto

Coordinación: INECYC

Portada e Impresión: Imprenta NOCIÓN - Quito

INECYC entrega la serie “**Notas Técnicas**”, con el objeto de difundir la tecnología y el uso eficiente del cemento y hormigón. Ni los autores ni el Instituto, se hacen responsables por cualquier error, omisión o daño por el uso de esta información. Estos documentos no intentan suplir normas técnicas, prácticas constructivas ni los conocimientos y criterios de los profesionales responsables de la construcción de las obras.

ISBN: 978-9978-390-02-3

INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO - INECYC
Avenida de los Shyris N 39 30 y el Telégrafo
Teléfono (593 2) 246 75 11
Fax (593 2) 245 75 08
Quito - Ecuador
www.inecyc.org.ec

CONTROL DE CALIDAD EN EL HORMIGÓN

CONTROL POR RESISTENCIA

PARTE II

CONTROL POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

Requisitos de aceptabilidad establecidos por el ACI 318.- Se indicó en la Parte I de esta Nota Técnica, que para que un hormigón, cuyo control de calidad se efectúa en función de registros de su resistencia a la compresión, se considere satisfactorio, deberá cumplir con los dos requisitos siguientes:

- a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos (media móvil) debe ser igual o superior a $f'c$.
- b) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) puede ser menor que $f'c$ por más de 3,5 MPa cuando $f'c$ es igual o menor que 35 MPa; o por más de 0,10 $f'c$ cuando $f'c$ es mayor que 35 MPa.

En el Anexo 1, se presenta un ejemplo de evaluación de resistencias a compresión y diagramas de control de un suministro de hormigón.

Cuando no se cumpla con cualquiera de los dos requisitos anteriores deben tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de los ensayos de resistencia posteriores. Cuando no se cumplan los requisitos de la condición b) deberá realizarse una investigación de los resultados de ensayos con baja resistencia. Esta investigación se detalla más adelante.

Tal como se estableció al final de la Parte I, al dosificar la mezcla del hormigón, debe hacerse para una resistencia mayor que la especificada para una obra, a fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos de aceptabilidad del ACI 318. Esa **Resistencia Requerida ($f'cr$)** se calcula con la siguiente ecuación:

$$f'cr = f'c + pS$$

en la que **p** es el factor de probabilidad y **S** la desviación estándar.

El factor de probabilidad **p** usualmente utilizado y recomendado por el ACI para hormigón estructural es 2,33 el que, permite que únicamente el 1% de los ensayos arrojen resistencias menores a la especificada. Sin embargo, cuando la resistencia del hormigón de la obra no sea de importancia, las especificaciones pueden permitir utilizar un factor p menor. En cambio, cuando la seguridad y tipo de obra exijan que la probabilidad de ensayos por debajo de la resistencia especificada sea menor que el 1% el factor p tendrá un valor mayor. Los valores de p y los correspondiente porcentaje de ensayos más bajos que la resistencia especificada se indican en la tabla N° 6 (Parte I de esta Nota Técnica).

Los cálculos de las ecuaciones que permiten determinar el $f'cr$ con estas consideraciones se desarrollarán de acuerdo al procedimiento explicado más adelante.

Si la desviación estándar se ha calculado disponiendo de al menos treinta ensayos de resistencia, el ACI da las siguientes ecuaciones para determinar la resistencia especificada:

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1,34 S \quad (5-1)$$

$$f'_{cr} = f'_{c} + 2,33 S - 3,5 \quad (5-2)$$

$$f'_{cr} = 0,90 f'_{c} + 2,33 S \quad (5-3)$$

Todos los valores se expresan en MPa.

Si f'_{c} es igual o menor que 35 MPa, debe usarse el mayor de los valores obtenidos con las ecuaciones (5-1) y (5-2). Si f'_{c} es mayor que 35 MPa, debe usarse el mayor de los valores obtenidos con las ecuaciones (5-1) y (5-3).

Figura 1.
Incremento de Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr}) en función de la Desviación Estándar para f'_{c} igual o menor que 35 MPa

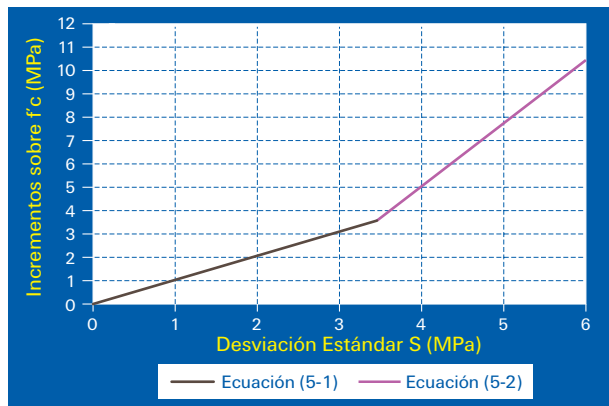
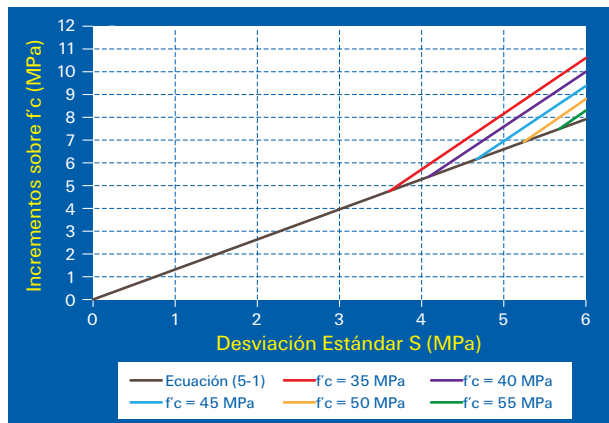


Figura 2.
Incremento de Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr}) en función de la Desviación Estándar cuando f'_{c} es mayor que 35 MPa



Estos gráficos representan los incrementos necesarios, en MPa, sobre los valores de f'_{c} para determinar la resistencia requerida: en la figura 1. para hormigones de 35 MPa o menores y en la figura 2. para hormigones de más de 35 MPa. Para el caso de hormigones de más de 35 MPa, puede apreciarse que para desviaciones estándar de hasta 3,5 prevalece la ecuación (5-1), mientras que para desviaciones estándar mayores, predominan los valores obtenidos con la ecuación (5-3), los cuales a medida que aumenta f'_{c} van disminuyendo y se aproximan a los de la ecuación (5-1). En el gráfico constan incrementos de resistencia para hormigones de hasta 55 MPa.

Para hormigones de más de 70 MPa, cuyo uso es relativamente reciente, se están haciendo muchos estudios sobre los procedimientos a seguir en su dosificación, para garantizar el cumplimiento de las resistencias especificadas dentro de las tolerancias permitidas.

Los valores de la desviación estándar S se calculan para un número de ensayos igual o mayor a treinta. Cuando no se dispone de ese número de ensayos, los valores calculados para la desviación estándar deben modificarse de acuerdo con la tabla 5.3.1.2 del ACI 318.

Tabla ACI 5.3.1.2

FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA CUANDO SE DISPONE MENOS DE 30 ENSAYOS

Número de Ensayos*	Factor para modificar la desviación estándar de la muestra
Menores de 15	Emplee la tabla 5.3.2.2
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 o más	1,00

* Interpolarse para un número intermedio de ensayos

Si no hay datos disponibles para la Desviación Estándar debe usarse la Tabla 5.3.2.2.

Tabla ACI 5.3.2.2

RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Resistencia especificada MPa	Resistencia requerida MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1f'c + 5,0$

Cabe mencionar que las ecuaciones (5-1), (5-2) y (5-3) consideran la probabilidad de que solo el 1% de los ensayos arrojen resistencias menores que las establecidas en a) y b) de los requisitos de aceptabilidad del ACI 318, de allí que el factor de probabilidad sea de 2,33 (ecuación 5-2). La determinación del otro factor (ecuación 5-1) $p = 1,34$, obedece al razonamiento siguiente:

Las ecuaciones con valores en MPa

$$f'cr = f'c + 1,34 S \quad (5-1)$$

$$f'cr = f'c + 2,33 S - 3,5 \quad (5-2)$$

$$f'cr = 0,90 f'c + 2,33 S \quad (5-3)$$

pueden generalizarse en la forma siguiente:

$$f'cr = f'c + zkS / (n^{0,5}) \quad (6-1)$$

$$f'cr = f'c + zkS - 3,5 \quad (6-2)$$

$$f'cr = 0,90 f'c + zkS \quad (6-3)$$

en las que:

z = factor de probabilidad según el porcentaje de pruebas por debajo del $f'c$ que se acepte.

$z = 2,33$ para 1%.

k = factor de modificación de S cuando el número de ensayos es menor que 30. Ver Tabla 5.3.1.2 del ACI 318.

n = número de ensayos para calcular el factor de probabilidad según la media móvil (ver requisito a) del ACI 318 para aceptabilidad del hormigón). Se toma para 3 ensayos consecutivos según el propio ACI 318 y el Código Ecuatoriano de la Construcción.

$$p = z / (n^{0,5}) \quad p = 2,33 / (3^{0,5}) = 1,34$$

1,34 es el factor de S que figura en la ecuación (5-1).

Con las ecuaciones generalizadas (6-1), (6-2) y (6-3) es posible calcular los valores de la resistencia promedio requerida ($f'cr$) para diferentes porcentajes de ensayos que se permitan por debajo de la resistencia especificada ($f'c$) y para el número de ensayos consecutivos a tomarse para la media móvil. Podrían considerarse valores diferentes a los usados para las ecuaciones (5-1) a (5-3) según las características de seguridad requeridas para cada obra.

A manera de ejemplo y en el caso de una obra en la que las condiciones de trabajo del hormigón sean menos severas que las normales, podría aceptarse que el 2% de los resultados de ensayos caigan por debajo de $f'c$ y que la media móvil se realice para cuatro ensayos consecutivos en lugar de tres, el valor de z para la ecuación (6-2) será de **2,16** (interpolando para 2% en la Tabla N° 6 de Factores de Probabilidad, Parte I) en lugar de 2,33 usado para 1%.

Para la ecuación (6-1) el factor de probabilidad p será **$2,16 / (4^{0,5}) = 1,08$ en lugar de 1,34**; con esto, para un hormigón de $f'c = 20$ MPa con una desviación estándar de 4, el valor de $f'cr$ será de: $20 + 1,08 \times 4 = 24,32$ MPa con la ecuación (6-1) y $20 + 2,16 \times 4 - 3,5 = 25,14$ MPa con la ecuación (6-2). El hormigón deberá dosificarse para una resistencia requerida de 25,14 MPa.

Por el contrario, si las condiciones de seguridad y trabajo del hormigón para una obra determinada son más exigentes y por tanto se desea que la probabilidad de ensayos con resistencias más bajas que la especificada sea menor que el 1%, el factor p deberá ser mayor que 2,33, de acuerdo a la tabla N° 6 de Factores de Probabilidad (Parte I), las ecuaciones para $f'cr$ se determinan de la misma forma arriba indicada.

La disposición de utilizar el factor de probabilidad p diferente a 2,33, que permite que el porcentaje de ensayos bajos diferentes del 1%, **debe estar expresa y claramente establecida en las especificaciones de la obra.**

No debe olvidarse que, en cualquier caso, de no disponerse de por lo menos 30 ensayos de control de resistencia, deben aplicarse los factores de modificación para la desviación estándar, consignados en la Tabla 5.3.1.2 del ACI 318.

Investigación de resultados de ensayos con bajas resistencias.- Si cualquier ensayo de resistencia de cilindros curados en el laboratorio en condiciones normalizadas, es menor que f'_c por más de los valores dados en el requisito de aceptabilidad b), o si los ensayos de cilindros curados en la obra indican deficiencia de protección y de curado deben tomarse medidas para asegurar que no se pone en peligro la capacidad de carga de la estructura.

Es conveniente aclarar que la investigación de resultados bajos puede darse por deficiencia en la protección y curado del hormigón en obra. Esto se determina cuando se moldea cilindros adicionales, al mismo tiempo y utilizando la misma muestra de los cilindros que van al laboratorio (para aceptación del hormigón). Estos cilindros deben curarse en las mismas condiciones que el hormigón de la obra.

Si la resistencia de los cilindros curados en obra es menor que el 85% de la resistencia que arrojan los cilindros compañeros curados en laboratorio, deben mejorarse los procedimientos para proteger y curar el hormigón en la obra.

Si los resultados de resistencia de los cilindros curados en laboratorio y/o de los cilindros curados en obra, indicaren que el hormigón es de dudosa resistencia, se debe proceder como se indica a continuación:

Si se confirma, **luego de agotar todos los procedimientos no destructivos de control actualmente aceptados** (ACI 228.1R y ACI 228.2R), que el hormigón es de dudosa resistencia y los cálculos indicaren que la capacidad de resistencia de la estructura se habría disminuido significativamente, deberán obtenerse de los sectores en duda, núcleos calados de acuerdo con la norma ASTM C-42. En este caso deberán obtenerse **tres** grupos de núcleos por cada resultado de resistencia que esté por debajo del requisito b). Estos núcleos deberán ensayarse de acuerdo con la norma ASTM C-39/C-39M (INEN 1.573).

Los núcleos deben taladrarse perpendicularmente a la superficie y no cerca de las juntas o bordes de hormigonado. Debe anotarse el ángulo aproximado entre el eje longitudinal del núcleo extraído y el plano horizontal del hormigón como fue colocado.

El diámetro de los núcleos extraídos para determinar la resistencia a la compresión no debe ser menor de 94 mm ni de tres veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Su longitud debe ser el doble que su diámetro; si ésta es mayor debe ser reducida mediante aserrado o cepillado en forma tal que la relación entre la longitud del núcleo refrentado y su diámetro, se encuentre entre 1,8 y 2,2 .

Tan pronto como un núcleo ha sido extraído, debe secarse de su superficie el agua del taladrado y dejar que el resto de humedad se evapore. Cuando la superficie parezca seca, pero no antes de una hora después de la extracción, deben colocarse los núcleos separadamente en bolsas de plástico o en recipientes no absorbentes, sellándolos para evitar la pérdida de humedad. Deben mantenerse a temperatura ambiente evitando la exposición a los rayos solares, transportándolos cuidadosamente lo antes posible, al laboratorio en el que deben ensayarse.

Si un núcleo debe ser cortado para obtener la longitud requerida, esta operación debe ser realizada lo antes posible después de su extracción. Las demás operaciones de secado, conservación y transporte antes mencionadas deben aplicarse.

Los núcleos deben permanecer en las bolsas plásticas o recipientes no absorbentes durante no menos de cinco días, y sólo serán sacados durante un tiempo máximo de dos horas antes del ensayo.

El hormigón de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85% de f'_c y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% de f'_c . Cuando los resultados sean erráticos, se pueden extraer núcleos adicionales de la misma zona.

Si los criterios del párrafo anterior no se cumplen y si la seguridad estructural permanece en duda, pueden

PROCEDIMIENTOS NO DESTRUCTIVOS DE CONTROL MÁS UTILIZADOS



Esclerometría ASTM C 805



Penetración (Sonda de Windsor) ASTM C 803



Velocidad de Pulso Ultrasónico ASTM C 597



Arranque ASTM C 900

ordenarse pruebas de carga, de acuerdo con las normas vigentes para el efecto, en las partes dudosas de la estructura.

CONTROL POR RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:

La utilización del hormigón en estructuras en las que, como el caso de algunos pavimentos sin armadura, debe trabajar soportando los esfuerzos de tracción, demanda la utilización de procedimientos de control de calidad mejor orientados hacia el comportamiento de los hormigones frente a estos esfuerzos de tracción.

Ha existido la creencia no fundamentada de que el procedimiento recomendado por el Comité 214 del

ACI, es solo aplicable para el control de la resistencia a la compresión del hormigón.

El mismo Comité ACI 214 aclara, en su Reporte publicado en el 2007, que los conceptos estadísticos aplicados para los ensayos de resistencia a la compresión, son también aplicables para el análisis de los resultados de otros ensayos del hormigón, incluyendo la resistencia a la flexión, asentamiento, contenido de aire y densidad.

Por consiguiente, el procedimiento estadístico del ACI 214 **puede y debe ser aplicado en todo lo relacionado con el control de esfuerzos de tracción en el hormigón.**

El numeral 3.5 del ACI 325.9R-03 "Guía para la Construcción de Pavimentos de Hormigón y Bases", establece un criterio para la aceptación de hormigones

trabajando a tracción. Este criterio es equivalente al del ACI 318 y al del Código Ecuatoriano de la Construcción para el caso de la aceptación de hormigones trabajando a compresión.

El mencionado numeral 3.5 señala que el hormigón debe considerarse adecuado, cuando **el promedio de cualquier grupo de tres ensayos consecutivos iguala o excede a la Resistencia Especificada (MR), y ningún ensayo individual cae más de 0,5 MPa por debajo de dicha resistencia (MR).**

En el Manual del ACI para la Práctica del Hormigón correspondiente al año 2004, se suprimió el Reporte ACI 325.9R, acogiendo la posición de la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA) que consideraba que las pruebas de resistencia para aceptación del hormigón para pavimentos debían basarse en ensayos de compresión, y que deberían hacerse todos los esfuerzos para cambiar las especificaciones hacia ese fin. Consideraba además que, de usarse ensayos de compresión para la aceptación del hormigón, la correlación con los parámetros de las resistencias de diseño deberían hacerse a través de organismos con experiencia (correlación genérica) o, con mayor precisión, mediante la correlación específica con la mezcla de hormigón utilizada.

Al respecto el ACI señala que, si bien la tendencia recomendada por la ACPA es la de utilizar los ensayos de compresión para aceptación del hormigón, en caso de requerirse evaluar la resistencia utilizando directamente ensayos de tracción, deben usarse los requisitos de aceptación del ACI 325.9R. Por otra parte señala que el ACI 325.12R-02 "Guía para el Diseño de Pavimentos de Hormigón con Juntas para Calles y Caminos Locales" proporciona recomendaciones sobre la forma de estimar la correlación entre los ensayos de resistencia a la tracción por flexión y los ensayos de resistencia a la compresión.

Aplicación del procedimiento estadístico del ACI 214 para el control de los esfuerzos de tracción en el hormigón:

Los requisitos de aceptabilidad del hormigón trabajando a tracción establecen, según el ACI 325.9R y según la norma INEN 1855-1:2001, que:

- El promedio de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos de resistencia (media móvil) debe ser igual o superior al Módulo de Rotura (MR) especificado.
- Ningún resultado individual del ensayo de resistencia puede estar 0,5 MPa por debajo del Módulo de Rotura especificado.

Tal como ocurre con el control por resistencia a la compresión, al dosificar la mezcla del hormigón, debe hacerse para una resistencia mayor que la especificada para una obra, a fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos de aceptabilidad del ACI 325.9R y de la NTE INEN 1855-1. Esa **Resistencia Requerida (MRr)** se calcula con la siguiente ecuación:

$$MRr = MR + pS$$

en la que **p** es el factor de probabilidad y **S** la desviación estándar.

Si la desviación estándar se ha calculado disponiendo de por lo menos treinta ensayos de resistencia y aplicando el procedimiento estadístico del ACI 214, las ecuaciones para determinar la resistencia requerida pueden escribirse así:

El valor de MRr que se utilice para el diseño será el mayor que se obtenga con las siguientes ecuaciones

$$MRr = MR + 1,34 S \quad (7-1)$$

$$MRr = MR + 2,33 S - 0,5 \quad (7-2)$$

Todos los valores se expresan en MPa

Cabe mencionar que las ecuaciones (7-1) y (7-2) consideran la probabilidad de que solo el 1% de los ensayos arrojen resistencias menores que las establecidas en a) y b) de los requisitos de aceptabilidad

mencionados, de allí que el factor de probabilidad sea de 2,33 en la ecuación (7-2). –Ver Tabla N° 6 de la Parte I-

Estas ecuaciones pueden expresarse en la siguiente forma generalizada:

valores en MPa

$$MRr = MR + zkS / (n^{0,5}) \quad (8-1)$$

$$MRr = MR + zkS - 0,5 \quad (8-2)$$

en las que:

z = factor de probabilidad según el porcentaje de pruebas por debajo del **MR** que se acepte. **z = 2,33 para 1%**.

k = factor de modificación de **S** cuando el número de ensayos es menor que 30. Ver **Tabla 5.3.1.2** del ACI 318.

n = número de ensayos para calcular el factor de probabilidad según la media móvil ver requisito a). Se toma para **3** ensayos consecutivos según las mencionadas normas.

$$p = z / (n^{0,5})$$

$$p = 2,33 / (3^{0,5}) = 1,34$$

1,34 es el factor de **S** que figura en la ecuación (7-1).

Con las ecuaciones generalizadas (8-1) y (8-2) es posible calcular los valores de la resistencia promedio requerida (MRr) para diferentes porcentajes de ensayos que se permitan por debajo de la resistencia especificada (MR) y para el número de ensayos consecutivos a tomarse para la media móvil. Podrían considerarse valores diferentes a los usados para las ecuaciones (7-1) y (7-2) según las características de seguridad requeridas para cada obra.

No debe olvidarse que, de no disponerse de por lo menos 30 ensayos de control de resistencia, deben aplicarse los factores de modificación para la desviación estándar, consignados en la Tabla 5.3.1.2 del ACI 318.

Con las ecuaciones (7-1) y (7-2) y la Tabla 5.3.1.2 del ACI 318 se calculó la Tabla 7 (6 en la norma INEN 1855- 1) (**“Resistencia Promedio Requerida a Tracción por Flexión (MRr)** adoptada por la Comisión Técnica que redactó la norma INEN 1855-1:2001 actualmente en vigencia.

Tabla N° 7

Resistencia Promedio Requerida a Tracción por Flexión (MRr) Cuando la Desviación Estándar es Conocida

Número de ensayos	Desviación Estándar				
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
15	0,46	0,63	0,78	1,04	1,31
20	0,43	0,58	0,72	0,97	1,22
30 o más	0,40	0,54	0,67	0,90	1,13

La Resistencia Promedio Requerida (MRr) se obtiene sumándole al valor de Resistencia Especificada (MR) el valor tomado de esta tabla, que corresponda al número de ensayos y a la Desviación Estándar. Para valores intermedios se debe interpolar.

Tabla N° 8

Resistencia Promedio Requerida a Tracción por Flexión (MRr) Cuando la Desviación Estándar es Desconocida

Resistencia Especifica (MR)	Resistencia Promedio Requerida (MRr)
Menor que 2,5 MPa	MR + 0,92 MPa
Entre 2,5 y 4,0 MPa	MR + 1,11 MPa
Mayor de 4,0 MPa	MR + 1,31 MPa

Incumplimiento de los requisitos de resistencia a la tracción:

Si, a pesar de la utilización de la resistencia promedio requerida (MRr) en el diseño de la mezcla, se establece, mediante muestras tomadas en la obra, algún incumplimiento de cualquiera de los dos requisitos, deberán adoptarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de los ensayos de resistencia subsiguientes.

Si no se satisface el requisito b) “Ningún resultado individual del ensayo de resistencia puede estar 0,5 MPa por debajo del Módulo de Rotura especificado”, deberán tomarse medidas para asegurar que no se

pone en peligro la capacidad de resistencia de la estructura construida con ese hormigón.

Investigación de resultados de ensayos con bajas resistencias

Si se confirma, **luego de agotar todos los procedimientos no destructivos de control actualmente aceptados**, que el hormigón es de dudosa resistencia y los cálculos indicaren que la capacidad de resistencia de la estructura se habría reducido significativamente, deberán obtenerse de los sectores en duda, núcleos calados o vigas aserradas de acuerdo con la norma ASTM C-42. En este caso deberán obtenerse **tres** grupos de núcleos o de vigas aserradas por cada resultado de resistencia que esté por debajo del requisito b), Estos testigos deberán ensayarse de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- a) A tracción por flexión las vigas se ensayarán según las normas ASTM C 78 o C 293, mientras no exista la NTE INEN correspondiente.
- b) A tracción por compresión diametral los núcleos se ensayarán según la norma ASTM C 496 mientras no exista la NTE INEN correspondiente.

El hormigón representado por las vigas aserradas o por los núcleos, se considerará estructuralmente adecuado cuando se cumpla, según el caso, con una de las dos condiciones siguientes:

- a) El promedio de las resistencias de las vigas ensayadas en la forma antes indicada, resulte por lo menos igual al 85% del Módulo de Rotura especificado (MR) y ninguna viga tenga una resistencia menor que el 75% de dicho Módulo.
- b) El promedio de las resistencias de los núcleos ensayados a tracción por compresión diametral, resulte por lo menos igual al 60% del Módulo de Rotura especificado (MR) y ningún núcleo tenga una resistencia menor que el 54% de dicho Módulo.

Nota explicativa: La determinación de los valores del 60% y del 54% del punto b) no es otra cosa que la

equivalencia que tiene la resistencia a tracción obtenida con el ensayo de tracción por compresión diametral referida al Módulo de Rotura, calculada con un valor promedio de $MR/ft = 1,4$. En otras palabras el valor $f't$ que corresponde al 60% obtenido por la prueba de tracción por compresión diametral, hubiere arrojado un valor de 85% si se ensaya en una viga. De igual manera el valor de 54% en tracción por compresión diametral es equivalente al de 75% si se hubiese ensayado una viga.



Obtención de Vigas Aserradas



Caladora de Núcleos

Para cortar y extraer las vigas del tamaño adecuado así como para ajustar sus extremos, debe usarse una sierra con hoja de diamante o carburo de silíceo capaz

de efectuar los cortes con precisión, sin provocar golpes o calentamiento excesivo en el hormigón.

Para obtener núcleos cilíndricos debe usarse una caladora adecuada cuya broca hueca tenga impregnados en su borde trocitos de diamante.

Cuando los resultados sean erráticos, se pueden extraer núcleos o vigas adicionales de la misma zona.

Es altamente recomendable que las partes involucradas en este análisis reconozcan de antemano los resultados que, según las normas, deben esperarse para considerar la aceptabilidad o rechazo del hormigón en una determinada obra.

A manera de ejemplo, si se obtienen vigas aserradas, deberá reconocerse la aceptabilidad de un hormigón de resistencia especificada a la tracción por flexión $MR=4,5$ MPa, si el promedio de tres vigas ensayadas no es menor que:

$$4,5 \times 0,85 = \mathbf{3,83 \text{ MPa}}$$

y ningún resultado individual arroja un valor menor que:

$$4,5 \times 0,75 = \mathbf{3,38 \text{ MPa}}$$

Y en el caso de que, por dificultades para obtener vigas aserradas, sea necesario extraer núcleos para ensayarlos a tracción por compresión diametral, deberá reconocerse la aceptabilidad de un hormigón de resistencia especificada a la tracción por flexión $MR = 4,5$ MPa, si el promedio de tres núcleos ensayados no es menor que:

$$4,5 \times 0,60 = \mathbf{2,70 \text{ MPa}}$$

y ningún núcleo individual arroja un valor menor que:

$$4,5 \times 0,54 = \mathbf{2,43 \text{ MPa}}$$

Estas cifras, por falta de una aplicación correcta de las normas, podrían conducir a un injustificado rechazo del hormigón en vista de ser apreciablemente inferiores que la resistencia especificada (en el caso del ejemplo $MR = 4,5$ MPa). Sin embargo se justifican

plenamente como una consecuencia de los procesos de obtención por aserrado de las vigas y por extracción de los núcleos.

Gran cantidad de estudios y experiencias han ratificado la validez de estos valores, los mismos que, según algunos tratadistas de reconocido prestigio internacional, pueden ser todavía más reducidos según las condiciones de obtención de las muestras.

El Prof. Adam Neville, en su libro "Properties of concrete", recoge una serie de investigaciones en las que se establece que los cilindros calados horizontalmente arrojan valores del orden del 92 % de aquellos calados verticalmente.

Todas estas variables, que inciden de manera importante en los resultados que pueden esperarse para considerar la aceptabilidad de un hormigón en función de pruebas destructivas (vigas aserradas y núcleos) justifican plenamente la recomendación sobre la conveniencia de agotar todas las pruebas no destructivas para comprobar la resistencia del hormigón, antes de disponer la ejecución de ensayos basados en núcleos extraídos o en vigas aserradas.

Por otra parte, si como consecuencia del proceso de investigación de resultados que estén por debajo de los valores límites, es indispensable recurrir a la extracción de núcleos o al aserrado de vigas para evaluar la resistencia a la tracción del hormigón, es necesario que la obtención de estos testigos y sus ensayos, se ejecuten respetando los procedimientos recomendados por las normas, como los que se mencionan a continuación.

Núcleos para determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral.

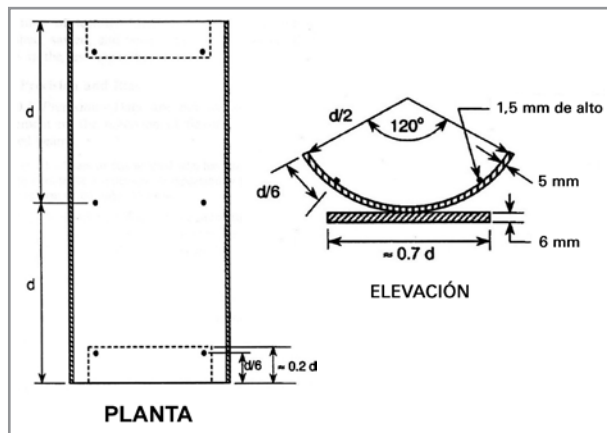
Los núcleos deben taladrarse perpendicularmente a la superficie y no cerca de las juntas o bordes de una unidad de hormigonado. Debe anotarse el ángulo aproximado entre el eje longitudinal del núcleo extraído y el plano horizontal del hormigón como fue colocado.

El diámetro de los núcleos extraídos para determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral

no debe ser menor de 94 mm ni de tres veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Su longitud debe ser el doble que su diámetro; si ésta es mayor debe ser reducida mediante aserrado o cepillado en forma tal que la relación entre la longitud del núcleo y su diámetro, se encuentre entre 1,9 y 2,1. Los extremos de estos núcleos no deben ser refrentados.

Las condiciones de tratamiento de los núcleos después de su extracción y durante el período previo a su ensayo deben ser las mismas que para los núcleos extraídos para ensayos de resistencia a la compresión.

Las líneas de contacto entre los núcleos y las superficies de apoyo deben ser rectas y no tener resaltes ni depresiones mayores que 0,2 mm. De no ser así los núcleos tienen que ser cepillados o refrentados longitudinalmente para cumplir con esa condición. Este refrentado debe ser lo más delgado posible usando yeso de enlucir de alta resistencia o refrentado con azufre. El gráfico adjunto muestra un aparato adecuado para realizar dicho refrentado.



Equipo para refrentado longitudinal



Rotura por tracción indirecta

El ensayo de los núcleos debe realizarse de conformidad con la norma ASTM C 496.

Vigas aserradas para los ensayos de Resistencia a la Tracción por Flexión:

Normalmente las vigas aserradas deben tener una sección transversal cuadrada de 150 x 150 mm y una longitud 500 mm (450 mm entre apoyos del equipo para rotura por flexión), salvo que se especifiquen otras dimensiones.

Debe ejecutarse el aserrado en forma tal que el hormigón no sea afectado por golpes o calentamiento; las superficies aserradas deben ser suaves, planas y paralelas, no tener desniveles, bordes ni estrías. Las vigas aserradas deben manipularse con cuidado para evitar que se desportillen o se fracturen.

El proceso de aserrado puede reducir en forma apreciable la resistencia a flexión de las vigas, por lo que debe procurarse que, en lo posible, una de sus caras sea una superficie moldeada para tracción. Debe reportarse como parte del ensayo, la ubicación de la cara en tracción con respecto a la posición del hormigón colocado, así como la posición de las superficies aserradas.

Cabe mencionarse que en muchos casos, especialmente el ancho de la viga aserrada quedará determinado por el tamaño de los agregados gruesos y la altura por el espesor de la losa.

Las superficies de los testigos aserrados deben protegerse de la evaporación, cubriéndolos con arpillera húmeda y lámina de plástico durante su transporte y almacenamiento. Durante 40 horas como mínimo, antes de efectuarse el ensayo, las vigas deben sumergirse en agua saturada con cal a $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

La rotura de las vigas para la determinación de su resistencia a la tracción por flexión debe realizarse dentro de los 7 días posteriores al aserrado. La rotura debe efectuarse tan pronto como hayan sido retiradas del almacenamiento en agua. Durante el período entre el retiro del agua de almacenamiento y el ensayo, las vigas deben permanecer húmedas cubriéndolas con

un paño húmedo o cualquier tela que mantenga la humedad. Debe tomarse en consideración que cantidades relativamente pequeñas de secado en la superficie de las vigas generan esfuerzos de tracción en las fibras extremas, ocasionando apreciables reducciones en la resistencia a la tracción por flexión.

El ensayo debe realizarse de acuerdo con las disposiciones aplicables del Método de Ensayo ASTM C 78.

CAUSAS DE LAS VARIACIONES DE RESISTENCIA:

Para mantener una producción de hormigón con propiedades más o menos constantes, se requiere de un estricto control de todos los materiales y de los procesos de fabricación, transporte, colocación, protección, curado y evaluación de resistencias. Las variaciones en la resistencia del hormigón están directamente relacionadas con el grado de control efectuado.

A continuación se indica las principales causas de variación que pueden incidir en la resistencia del hormigón debido a los materiales.

El cemento, el material que genera la resistencia del hormigón, puede presentar variaciones y su calidad no ser uniforme; pero esta variación es mínima y posiblemente es la que menos incide en los problemas de resistencia, si es que en una obra no se cambia el tipo y marca de cemento, ya que este es el material que más control tiene en el proceso de producción.

Las variaciones en los áridos o agregados pueden causar significativos cambios en la resistencia del hormigón. Se debe usar el árido de una misma fuente y controlar cuidadosamente su gradación, una variación en esta puede requerir cambios en la cantidad de agua de mezcla y conducir a cambios de resistencia. Deben controlarse prolijamente las variaciones de la

humedad en los áridos, en especial del árido fino, esta falta de control y ajuste en la dosificación, produce variaciones importantes en la resistencia del hormigón.

Los materiales indeseables como terrones de arcilla, partículas deleznableles o materia orgánica, solo pueden estar presentes dentro de los límites permitidos por las normas; la presencia de estos materiales en cantidades mayores, sobre todo en el contenido de materia orgánica, ya sea en los áridos o en el agua de mezcla, generan pérdidas importantes de resistencia.

El agua para la mezcla, en lo posible, debe ser agua que se pueda beber o potable, sin embargo, presencias relativamente pequeñas de azúcares pueden producir problemas en el tiempo de fraguado y desarrollo de resistencia.

Los aditivos que se usan de manera adecuada generarán beneficios sobre las propiedades del hormigón, pero no debe esperarse que estos compensen las mezclas mal dosificadas o las malas prácticas de construcción. Los aditivos deben utilizarse en las proporciones recomendadas por el fabricante, deben evitarse sobredosis.

El contenido de aire también influye en la resistencia, este puede ser introducido intencionalmente con el objeto de mejorar la trabajabilidad y sobre todo para contrarrestar los efectos del congelamiento y deshielo en la masa de hormigón. Esta introducción de aire se realiza con el uso de aditivos que generan burbujas microscópicas uniformemente distribuidas. El aire también se incorpora naturalmente en el proceso de mezcla y el porcentaje de adición varía entre el 0,2 % y el 3%, dependiendo del tamaño del agregado grueso. El aire también puede estar presente en el hormigón por defectos en su consolidación, dejando vacíos que afectan a la resistencia.

El ACI 214 R-2 presenta la tabla 2.1 que resume las principales causas de variación de resistencia en el hormigón. Esta tabla se muestra a continuación.

Tabla 2.1 ACI 214 R-2
Principales causas para la variación de resistencia

Variaciones debidas a las propiedades del hormigón	Variaciones debidas a los métodos de ensayo
<p>Cambios en la relación a/mc, causados por:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pobre control del agua. ✓ Variación excesiva en la humedad de los áridos o mediciones variables de su humedad. 	<p>Procedimientos inadecuados de muestreo</p>
<p>Variaciones en el requerimiento de agua causado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambios en la gradación, absorción o forma de la partícula de los áridos. ✓ Cambios de las propiedades del material cementante o de los aditivos. ✓ Cambios en el contenido de aire. ✓ Cambios en la temperatura y en el tiempo de entrega. 	<p>Variación debido a las técnicas de fabricación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manipulación, almacenamiento y curado de las probetas recién moldeadas. ✓ Pobre calidad, daños o distorsiones en los moldes.
<p>Variaciones en las características y proporciones de los ingredientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Áridos. ✓ Material cementante, incluyendo puzolanas. ✓ Aditivos. 	<p>Cambios en el curado:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Variación en la temperatura. ✓ Control de humedad variable. ✓ Retrasos en llevar las probetas al laboratorio. ✓ Retrasos en iniciar el curado normalizado.
<p>Variaciones en el mezclado, transporte, colocación y compactación.</p>	<p>Procedimientos de ensayo incorrectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparación de las probetas. ✓ Procedimiento de ensayo. ✓ Equipos de ensayo sin calibrar.
<p>Variaciones en la temperatura del hormigón y del curado.</p>	

ANEXO 1

EVALUACIÓN DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, ACI 214 – INEN 1.855

Planta, Productor u Obra evaluada:

PERÍODO: 3 de enero de a 10 marzo de

Resistencia Especificada $f'c$ 24 MPa

Tipo de hormigón: Bombeable

Fecha del reporte _____

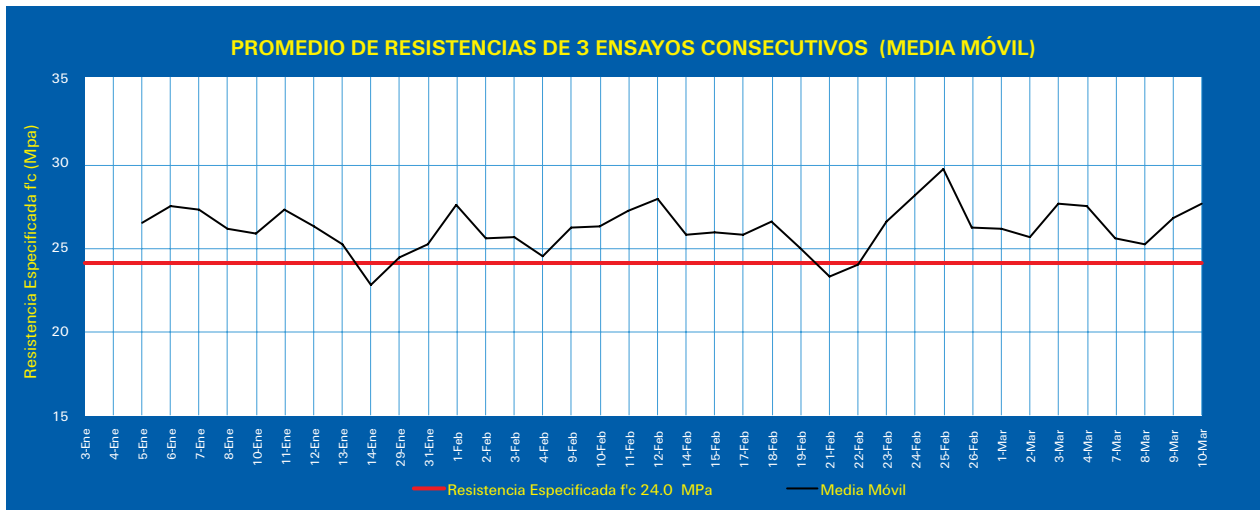
Ensayo N°	Fecha de moldeo	Resistencias en MPa					Criterios de Aceptación	
		Cilindro 1	Cilindro 2	Ensayo ⁽¹⁾	Media Móvil	Rango	Media móvil > $f'c$	Resist. > $f'c - 3,5$
1	3-Ene	24,50	25,01	24,76		0,51		SI
2	4-Ene	25,49	25,50	25,50		0,01		SI
3	5-Ene	29,12	28,73	28,93	26,39	0,39	SI	SI
4	6-Ene	27,16	28,24	27,70	27,37	1,08	SI	SI
5	7-Ene	25,00	24,69	24,85	27,16	0,31	SI	SI
6	8-Ene	25,00	26,08	25,54	26,03	1,08	SI	SI
7	10-Ene	26,96	26,86	26,91	25,77	0,10	SI	SI
8	11-Ene	29,22	28,73	28,98	27,14	0,49	SI	SI
9	12-Ene	23,14	22,11	22,63	26,17	1,03	SI	SI
10	13-Ene	23,73	23,82	23,78	25,13	0,09	SI	SI
11	14-Ene	21,67	21,76	21,72	22,71	0,09	NO	SI
12	29-Ene	27,84	27,25	27,55	24,35	0,59	SI	SI
13	31-Ene	26,50	25,80	26,15	25,14	0,70	SI	SI
14	1-Feb	28,73	28,53	28,63	27,44	0,20	SI	SI
15	2-Feb	22,40	20,80	21,60	25,46	1,60	SI	SI
16	3-Feb	26,18	26,57	26,38	25,54	0,39	SI	SI
17	4-Feb	25,70	24,80	25,25	24,41	0,90	SI	SI
18	9-Feb	26,37	26,86	26,62	26,08	0,49	SI	SI
19	10-Feb	26,47	26,67	26,57	26,15	0,20	SI	SI
20	11-Feb	27,94	28,04	27,99	27,06	0,10	SI	SI
21	12-Feb	28,55	29,10	28,83	27,80	0,55	SI	SI
22	14-Feb	19,56	20,60	20,08	25,63	1,04	SI	NO
23	15-Feb	28,14	28,92	28,53	25,81	0,78	SI	SI
24	17-Feb	27,83	28,84	28,34	25,65	1,01	SI	SI
25	18-Feb	22,80	21,90	22,35	26,41	0,90	SI	SI
26	19-Feb	23,86	24,00	23,93	24,87	0,14	SI	SI
27	21-Feb	23,22	23,39	23,31	23,20	0,17	NO	SI
28	22-Feb	24,90	24,31	24,61	23,95	0,59	NO	SI
29	23-Feb	31,27	31,47	31,37	26,43	0,20	SI	SI
30	24-Feb	27,16	28,57	27,87	27,95	1,41	SI	SI
31	25-Feb	29,05	29,80	29,43	29,55	0,75	SI	SI
32	26-Feb	20,39	21,50	20,95	26,08	1,11	SI	SI
33	1-Mar	27,02	28,20	27,61	25,99	1,18	SI	SI
34	2-Mar	28,04	27,90	27,97	25,51	0,14	SI	SI
35	3-Mar	26,47	27,50	26,99	27,52	1,03	SI	SI
36	4-Mar	27,18	27,08	27,13	27,36	0,10	SI	SI
37	7-Mar	22,04	22,53	22,29	25,47	0,49	SI	SI
38	8-Mar	25,88	25,88	25,88	25,10	0,00	SI	SI
39	9-Mar	32,08	31,37	31,73	26,63	0,71	SI	SI
40	10-Mar	24,50	25,30	24,90	27,50	0,80	SI	SI

EVALUACIONES

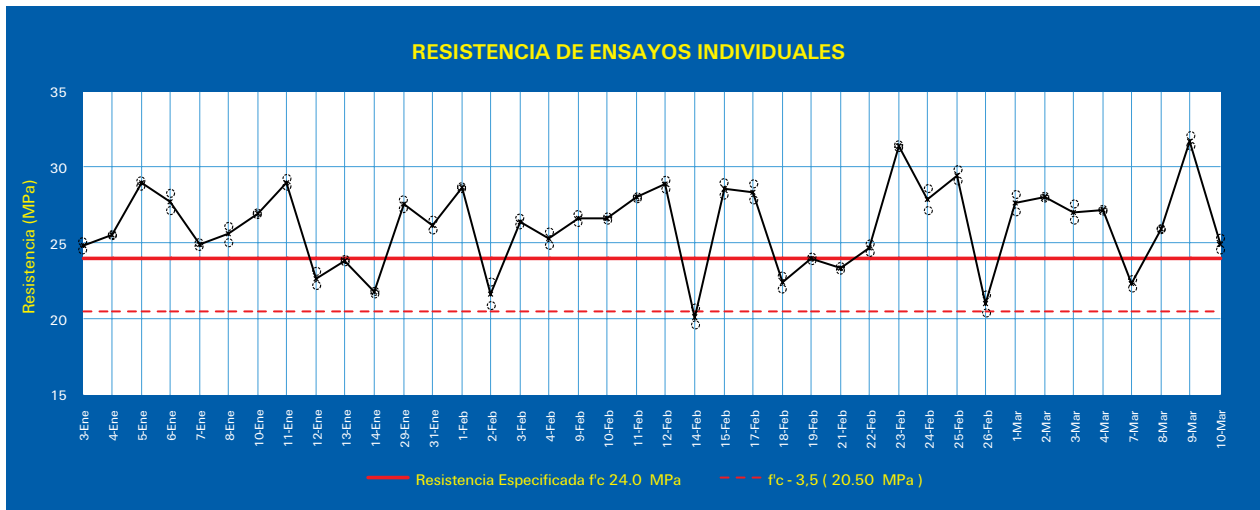
$f'c =$	24,00 MPa	Resistencia Promedio \bar{X} :	26,05 MPa	Nº de ensayos n: 40
Desviación Estándar S = 2,78		Factor de corrección:	1,00	Desviación estándar corregida: 2,78
CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA:				
PRIMERO:				
CADA PROMEDIO ARITMÉTICO DE TRES ENSAYOS DE RESISTENCIA CONSECUTIVOS (MEDIA MÓVIL), DEBE SER IGUAL O SUPERIOR A $f'c$.				
Media móvil mayor o igual a $f'c$: 35 de 38 cálculos realizados			CUMPLIMIENTO: 92,1%	
SEGUNDO:				
NINGÚN RESULTADO INDIVIDUAL DEL ENSAYO DE RESISTENCIA PUEDE SER MENOR QUE $f'c$ POR MÁS DE 3,5 Mpa.				
Ensayos individuales por debajo de 20,5 MPa ($f'c - 3,5$) = 1			CUMPLIMIENTO: 97,5%	

DIAGRAMAS DE CONTROL DE CALIDAD

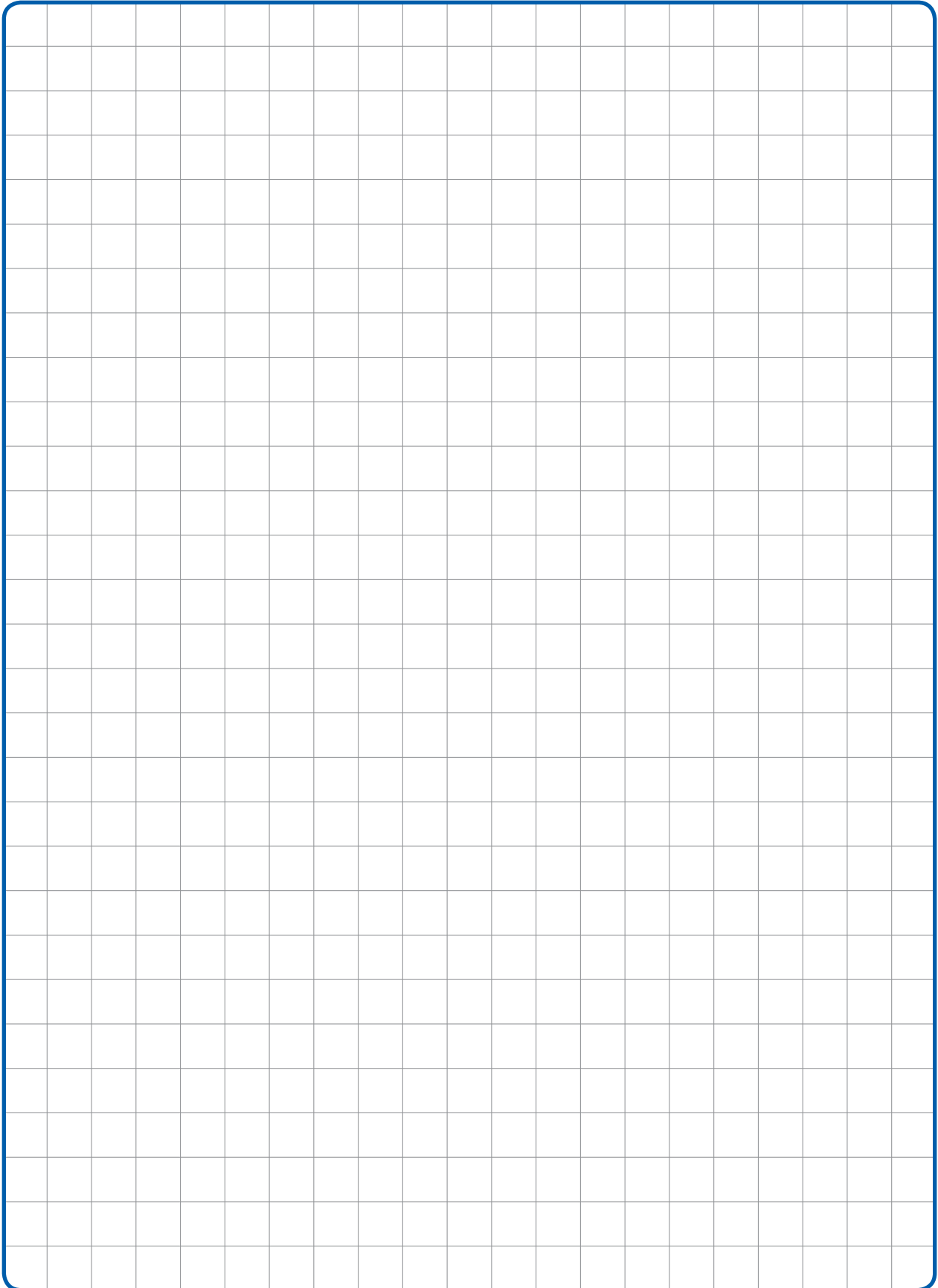
PRIMER CRITERIO DE ACEPTACIÓN

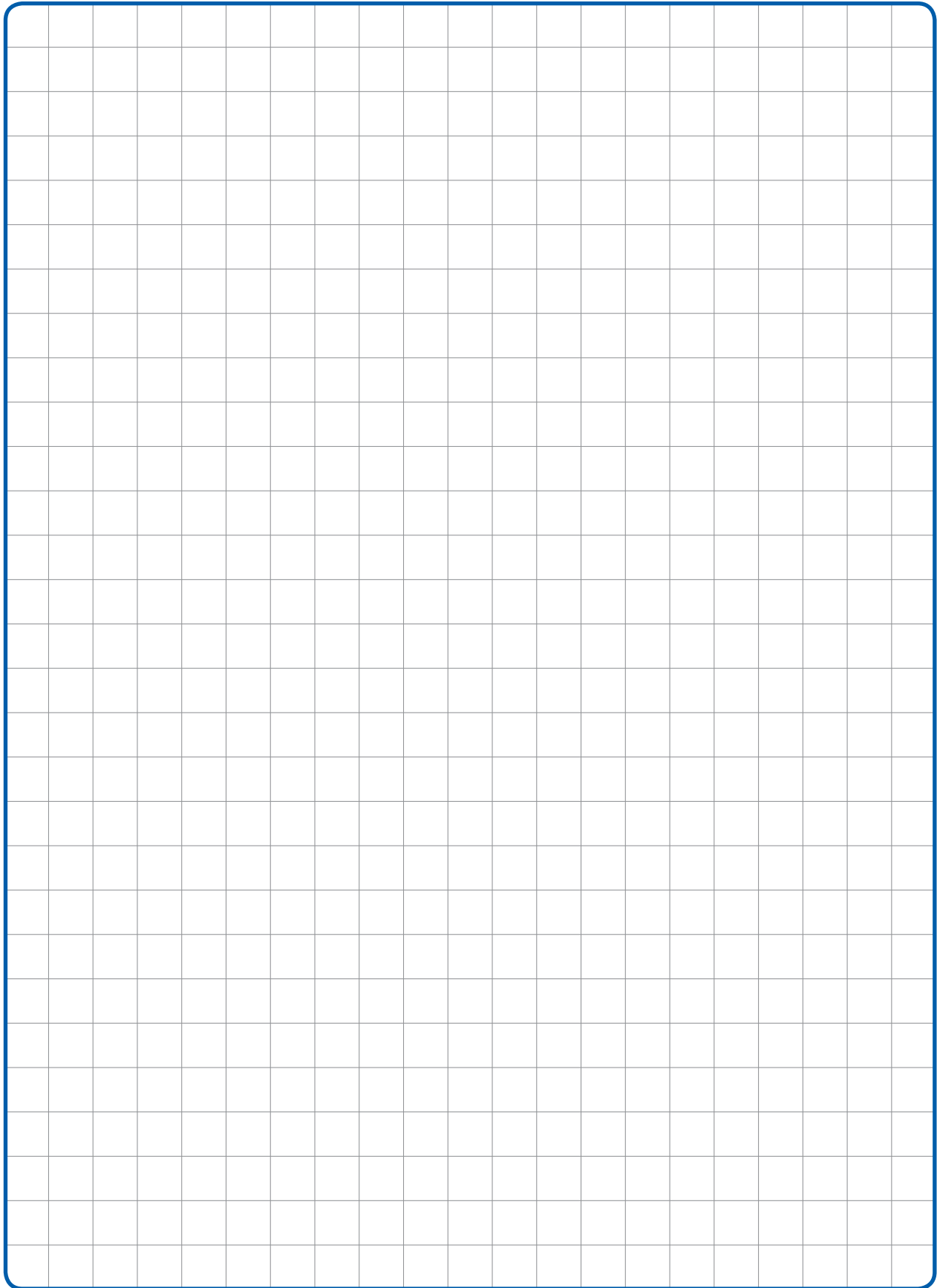


SEGUNDO CRITERIO DE ACEPTACIÓN:



(1) "Si se utilizan cilindros de 150 x 300 mm un ensayo es el promedio de los resultados de resistencia de dos cilindros elaborados con la misma muestra y el rango es el valor absoluto de la diferencia de las dos resistencias.
Si se utilizan cilindros de 100 x 200 mm un ensayo es el promedio de los resultados de resistencia de tres cilindros elaborados con la misma muestra y el rango es el valor absoluto entre la mayor y menor resistencias."





ISBN 978-9978-390-02-3



www.inecyc.org.ec



**INSTITUTO ECUATORIANO DEL
CEMENTO Y DEL CONCRETO**

Av. de los Shyris N 39-30 y El Telégrafo
Teléfono: (593-2) 246 75 11
Fax: (593 2) 245 75 11
Quito - Ecuador