

# ACI 214RS-11

## Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto

Preparado por el Comité ACI 214



American Concrete Institute  
*Siempre avanzando*



## Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto

Es propiedad del American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA. Todos los derechos reservados. Este material no puede ser reproducido ni copiado, en todo o en parte, en ningún medio impreso, mecánico, electrónico, película, u otro medio de distribución o archivo, sin el consentimiento escrito del ACI.

Los comités técnicos del ACI responsables de los informes y normas se esfuerzan para evitar ambigüedades, omisiones, y errores en estos documentos. A pesar de estos esfuerzos, los usuarios de los documentos del ACI ocasionalmente encuentran información o requisitos que pueden ser objeto de más de una interpretación o pueden estar incompletos o incorrectos. A los usuarios que tengan sugerencias para el mejoramiento de los documentos del ACI se les solicita ponerse en contacto con el ACI a través del sitio en la red para las Erratas: <http://concrete.org/Publications/Documenterrata.asp>. El uso apropiado del presente documento, debe incluir visitas periódicas a este sitio en la red para verificar la existencia de Erratas con las revisiones más recientes.

Los documentos desarrollados por los comités del ACI están orientados para ser utilizados por individuos competentes para evaluar la relevancia y limitaciones de su contenido y recomendaciones, los cuales aceptan la responsabilidad por el uso del contenido. Los individuos que utilicen esta publicación de cualquier manera asumen todo el riesgo inherente y aceptan la totalidad de la responsabilidad por el uso y aplicación de esta información.

Toda la información contenida en esta publicación se provee sin garantía de cualquier clase, explícita o implícita. Quedan excluidas, en particular, las garantías implícitas de que la información tenga valor comercial, sea útil para un propósito determinado y no constituya una violación de derechos de terceros.

El ACI y sus miembros niegan cualquier responsabilidad por daños de cualquier clase, incluyendo daños especiales, indirectos, accesorios, o relacionados, incluyendo sin limitación, lucro cesante o pérdida de ingresos, como consecuencia del uso de esta publicación.

Es responsabilidad del usuario de este documento determinar las políticas adecuadas de salubridad y seguridad ocupacional para las circunstancias específicas asociadas con su uso. El ACI no ha incluido en el documento asuntos relacionados con su uso respecto a salubridad y seguridad ocupacional. El usuario, antes de emplear este documento, debe determinar la necesidad de cumplir con toda la reglamentación y legislación de salubridad y seguridad ocupacional, incluyendo, sin limitarse a ella, la normatividad expedida por el United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

La participación por parte de cualquier representante del gobierno en el trabajo del American Concrete Institute y en el desarrollo de los estándares del Instituto no constituye un respaldo del gobierno al ACI o de los estándares que se desarrollen allí.

Información para pedidos: Los documentos del ACI están disponibles en medio impreso, accesibles a través de la red, o en CD-ROM, por medio de suscripciones electrónicas, o copiado, y pueden obtenerse a través del ACI. La mayoría de las normas e informes de los comités del ACI se coleccionan anualmente en el ACI Manual of Concrete Practice (MCP).

**American Concrete Institute**  
**38800 Country Club Drive**  
**Farmington Hills, MI 48331**  
**Teléfono: +1.248.848.3700**  
**Fax: +1.248.848.3701**

La versión oficial de un documento del ACI es la versión en el idioma inglés. La traducción de un documento de ACI se hace para la conveniencia de los usuarios. Se han tomado todas las precauciones para asegurarse que la traducción sea correcta; sin embargo, ACI no garantiza su exactitud. La interpretación oficial de un documento de ACI será basada solamente en la versión en el idioma inglés.

# ACI 214RS-11

## Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto

Preparado por el Comité ACI 214

Casimir Bognacki\*, Director

Jerry Parnes, Secretario

David J. Ackers	Gilbert J. Haddad	D. V. Reddy
Madasamy Arockiasamy	Kal R. Hindo	David N. Richardson*
William L. Barringer	Robert S. Jenkins	James M. Shilstone Jr.
F. Michael Bartlett*	Alfred L. Kaufman Jr.	Bryce P. Simons
Jerrold L. Brown	William F. Kepler	Luke M. Snell
Bryan R. Castles*	Michael L. Leming	Patrick J. E. Sullivan
James E. Cook	Colin L. Lobo*	Eugene Takhtovich*
Ronald L. Dilly	John J. Luciano	Michael A. Taylor
Donald E. Dixon	Allyn C. Luke*	Roger E. Vaughan
Richard D. Gaynor	Stephen S. Marchese	Woodward L. Vogt*
Alejandro Graf	Richard E. Miller	Orville R. Werner II
Thomas M. Greene	Venkataswamy Ramakrishnan	

\*Miembros del comité que prepararon esta guía.

Los procedimientos estadísticos proporcionan herramientas valiosas para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto. La información que se deriva de dichos procedimientos es valiosa para la definición de criterios de diseño, especificaciones y los otros parámetros necesarios para la evaluación y reparación estructural. En la presente guía se examinan las variaciones que se presentan en la resistencia del concreto y se presentan procedimientos estadísticos útiles para la interpretación de estas variaciones con respecto de los ensayos y criterios que se especifican.

**Palabras clave:** coeficiente de variación; resistencia del concreto; distribución normal; sobre diseño requerido; control de calidad; desviación estándar; métodos estadísticos.

Los informes, guías, procedimientos recomendados, y comentarios preparados por los comités del ACI tienen como fin orientar en la planificación, el diseño, la ejecución y la inspección de la construcción. El presente documento se presenta para ser utilizado por personas capacitadas y competentes para identificar la relevancia y limitaciones en su contenido y recomendaciones, y quienes aceptan las responsabilidades inherentes a su uso. El American Concrete Institute se libera de cualquiera y todas las responsabilidades derivadas de su contenido. El Instituto no es responsable por cualquier pérdida o daño derivado de su uso.

No debe hacerse referencia del presente documento en documentos de construcción. Si el profesional facultado para diseñar desea que los elementos contenidos en el presente documento sean parte de los documentos contractuales, éstos se deben declararse en lenguaje imperativo para ser incorporados por él.

La versión oficial de un documento del ACI es la versión en el idioma inglés. La traducción de un documento de ACI se hace para la conveniencia de los usuarios. Se han tomado todas las precauciones para asegurarse que la traducción sea correcta; sin embargo, ACI no garantiza su exactitud. La interpretación oficial de un documento de ACI se debe basar solamente en la versión en el idioma inglés.

ACI 214R-11 reemplaza a 214R-02 y se adoptó y publicó en abril de 2011. Copyright © 2011, American Concrete Institute

Es propiedad © 2011, American Concrete Institute

Todos los derechos reservados incluyendo los derechos de reproducción y uso de cualquier forma o medio que incluye la elaboración de copias por medio de cualesquier proceso fotográfico, o por medio de dispositivos electrónicos o mecánicos, impresos, escritos u orales de grabación de sonido o reproducción visual para usarse en cualquier sistema o dispositivo de recuperación de conocimientos, salvo que se obtenga el permiso por escrito de los titulares de los derechos de autor.

# CONTENIDO

## CONTENIDO

### CAPÍTULO 1—INTRODUCCIÓN

1.1—Introducción

1.2—Resumen

### CAPITULO 2—NOTACIÓN Y DEFINICIONES

2.1—Notación

2.2—Definiciones

### CAPÍTULO 3—VARIACIONES DE LA RESISTENCIA

3.1—Generalidades

3.2—Influencia de las variaciones entre tandas en la resistencia del concreto

3.3—Influencia de las variaciones dentro de la tanda en la resistencia del concreto

### CAPÍTULO 4—ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RESISTENCIA

4.1—Generalidades

4.2—Funciones estadísticas

4.3—Variaciones de la resistencia

4.4—Interpretación de los parámetros estadísticos

4.5—Normas de control

### CAPÍTULO 5—CRITERIOS

5.1—Generalidades

5.2—Datos empleados para establecer la resistencia promedio mínima requerida

5.3—Criterios para los requisitos de resistencia

### CAPITULO 6—EVALUACIÓN DE DATOS

6.1—General

6.2—Número de ensayos

6.3—Rechazo de especímenes dudosos

6.4—Requisitos de ensayo adicionales

6.5—Tablas de control de calidad

6.6—Técnicas de evaluación adicionales

### CAPÍTULO 7—REFERENCIAS

7.1—Normas e informes a los que se hace referencia

7.2—Referencias citadas

# CAPÍTULO 1—INTRODUCCIÓN

## 1.1—Introducción

La presente guía proporciona una introducción a la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto. Los procedimientos descritos se aplican a los resultados de ensayos de resistencia a la compresión que requieren ACI 301, ACI 318, especificaciones y reglamentos similares. Los conceptos estadísticos que se describen son aplicables al análisis de otros resultados de ensayos comunes del concreto, que incluyen la resistencia a la flexión, el asentamiento, el contenido de aire, la densidad, el módulo de elasticidad, y demás ensayos que se usan para evaluar el concreto y sus componentes. La presente guía supone que los resultados de los ensayos al concreto se ajustan a una distribución normal.

La mayoría de los proyectos de construcción en los Estados Unidos y Canadá requieren un muestreo de rutina del concreto y de la fabricación de los cilindros estándar. Estos cilindros generalmente se fabrican a partir de una muestra de concreto tomada de la descarga de un camión o de una tanda de concreto. Los cilindros se moldean y curan siguiendo los procedimientos estándar de ASTM C31/C31M y se someten a ensayo de acuerdo con los requisitos de ASTM C39/C39M. Si el concreto se prepara, cura y ensaya de esta forma, los resultados corresponden a la resistencia a la compresión del concreto curado bajo condiciones controladas, no es la resistencia en sitio del concreto dentro de la estructura. Se espera que, considerando la uniformidad de las condiciones de curado, estos cilindros tendrán esencialmente la misma resistencia, lo cual es indicativo de un concreto con propiedades congruentes. Estos son los cilindros que se usan para fines de aceptación.

Inevitablemente, los resultados de los ensayos de resistencia varían. Las variaciones en la resistencia medida del concreto se originan a partir de dos fuentes:

- Variaciones entre tandas que pueden ser el resultado de cambios en los ingredientes mismos o las dosificaciones de los ingredientes, la relación agua-materiales cementantes ( $a/mc$ ), el mezclado, el transporte, la colocación, el muestreo de la tanda, la consolidación, y el curado; y
- Variaciones dentro de la tanda, también conocidas como variaciones entre ensayos, que se deben principalmente a las diferencias en el muestreo de la tanda, la preparación del espécimen y los procedimientos de ensayo.

Existen diferencias en las tandas de cada mezcladora individual entre el frente y el fondo de la mezcladora, como se reconoce en ASTM C94/C94M. Por esta razón, los técnicos de campo de Nivel 1 de ACI se capacitan para hacer muestras compuestas a partir de las porciones centrales de las cargas.

Se pueden derivar conclusiones sobre la resistencia a la compresión del concreto a partir de una serie de ensayos. Las características de la resistencia del concreto se pueden estimar en forma precisa cuando se hace un número adecuado de ensayos de acuerdo con prácticas y métodos estándar de ensayo.

Los procedimientos estadísticos proporcionan valiosas herramientas al evaluar los resultados del ensayo de resistencia. La información derivada de ellos también es valiosa para refinar los criterios de diseño y las especificaciones. La presente guía versa sobre las variaciones en la resistencia del concreto y presenta procedimientos estadísticos útiles para interpretarla con respecto a ensayos y criterios de aceptación especificados.

Para que los procedimientos estadísticos que se describen en la presente guía sean válidos, los datos se deben originar a partir de muestras obtenidas a través de un plan de muestreo aleatorio. El muestreo aleatorio consiste en que cada volumen de concreto tiene una posibilidad igual de ser seleccionado. Para asegurar esta condición, la selección se debe hacer utilizando un mecanismo objetivo, por ejemplo, una tabla de números aleatorios. Cuando se seleccionan las muestras de tandas con base en el juicio del muestreador, es posible introducir sesgos que invalidarán el análisis. Natrella (1963), Box et al. (2005), y ASTM D3665 examinan la necesidad del muestreo aleatorio, y proporcionan una breve y útil tabla de números aleatorios.

## 1.2—Resumen

La presente guía empieza examinando en el Capítulo 3 las fuentes de variabilidad entre tandas en la producción de concreto, seguida de las fuentes de variabilidad dentro de cada tanda. El Capítulo 4 presenta las herramientas estadísticas que se usan para analizar y evaluar la variabilidad del concreto y determinar el cumplimiento de una determinada especificación. Los Capítulos 5 y 6 discuten las especificaciones basadas en los datos estadísticos.

## CAPITULO 2—NOTACIÓN Y DEFINICIONES

### 2.1—Notación

$d_2$  = factor para calcular la desviación estándar dentro de la tanda a partir del intervalo promedio (Tabla 4.1)

$f'_c$  = resistencia a la compresión especificada del concreto, lb./pulg.<sup>2</sup> (MPa)

$f'_{cr}$  = resistencia a la compresión del concreto promedio requerida (para garantizar que no más de una proporción permisible de ensayos caerá por debajo de la resistencia a la compresión especificada) utilizada como la base para la selección de la dosificación del concreto, lb./pulg.<sup>2</sup> (MPa)

$M$  = la mediana de una distribución, es decir, la mitad de los valores están por encima y la mitad de los valores están por debajo

$n$  = número de ensayos en la muestra

$R$  = intervalo dentro de la tanda

$\bar{R}$  = intervalo promedio

$\bar{R}_m$  = intervalo promedio máximo, utilizado en ciertas gráficas de control

$s$  = desviación estándar de la muestra, una estimación de la desviación estándar de la población, también identificada como  $s_{\text{overall}}$

$\bar{s}$  = promedio estadístico de la desviación estándar, o desviación estándar “combinada”

$s_1$  = desviación estándar dentro de la tanda de la muestra, también identificada como  $s_{\text{within-batch}}$

$s_2$  = desviación estándar entre tandas de la muestra, también identificada como  $s_{\text{producer}}$

$V$  = coeficiente de variación

$V_1$  = coeficiente de variación dentro de la tanda

$\bar{X}$  = promedio de los resultados de los ensayos de resistencia, también identificado como la media

$X_i$  = resultado de un ensayo de resistencia

$z$  = multiplicador de la desviación estándar  $s$  que depende del número de ensayos que se espera que caigan por debajo de  $f'_c$  (Tabla 5.3)

$\mu$  = media de la población

$\sigma$  = desviación estándar

$\sigma_1$  = desviación estándar dentro de la tanda

$\sigma_2$  = desviación estándar entre tandas