

**Jorge Andrés Delgado Castro**

Estudiante de Ingeniería Civil,  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
[jorgeandrsd@gmail.com](mailto:jorgeandrsd@gmail.com)

**Ing. Einer Rodríguez Rojas, MAP, M Ing.**

Profesor de Ingeniería Civil  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
[einer.rodriguez@ucr.ac.cr](mailto:einer.rodriguez@ucr.ac.cr)

**Ing. Flor de María Muñoz Umaña, M Ing.**

Profesora de Ingeniería Civil  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
[flor.munoz@ucr.ac.cr](mailto:flor.munoz@ucr.ac.cr)

Fecha de recepción: 4 de febrero 2020 / Fecha de aprobación: 29 de setiembre 2020

#### Índices y Bases de Datos:



#### Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

# Desarrollo de resistencia a la compresión en concreto con cementos modificados

*Compressive strength development of concrete with modified cements*

**Jorge Andrés Delgado Castro**

Estudiante de Ingeniería Civil,  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
jorgeandrsd@gmail.com

**Ing. Einer Rodríguez Rojas, MAP, M Ing.**

Profesor de Ingeniería Civil  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
einer.rodriguez@ucr.ac.cr

**Ing. Flor de María Muñoz Umaña, M Ing.**

Profesora de Ingeniería Civil  
Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
flor.munoz@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 4 de febrero 2020 / Fecha de aprobación: 29 de setiembre 2020

## RESUMEN

Este artículo presenta las curvas de desarrollo de resistencia a la compresión a través del tiempo de curado para mezclas de concreto elaboradas con tres tipos de cementos modificados comercializados en Costa Rica, y su combinación con agregado nacional proveniente de fuentes de tajo y río. Se utilizaron los cementos MM/A (E-C) – 28, MM/B (P-C) – 28 y MP A – AR, definidos según el reglamento RTCR 479:2015 Materiales de Construcción. Cementos Hidráulicos. Especificaciones. Debido a la carencia de curvas de desarrollo de resistencia para concretos elaborados con distintos tipos de cementos modificados y agregados comercializados en el país, el objetivo de este trabajo se enfocó en obtener tales curvas y el desarrollo porcentual de resistencia. Se caracterizó todo el material utilizado las respectivas normas ASTM o INTECO; asimismo se comprobó que el agregado y los cementos a utilizarse fuesen adecuados a partir de los parámetros establecidos en la ASTM C33/C33M-18 y la INTE C147:2018, respectivamente. La determinación de la resistencia a la compresión se efectuó por medio de especímenes cilíndricos de 150 mm x 300 mm, con edades de falla de 3, 7, 28 y 56 días; siguiendo un diseño de mezcla determinado a partir del ACI 211-91. A los datos generados se le realizó un análisis estadístico para establecer relaciones y respaldar los resultados obtenidos. Con este trabajo se logró demostrar que los cementos comercializados en Costa Rica con un grado de adición de escoria de alto horno son capaces de presentar una ganancia de resistencia significativa en el concreto después de los 28 días de curado, las mayores resistencias a la compresión en el concreto se generan al utilizar agregado de río, y generalmente la resistencia del concreto no varía significativamente al emplearse el mismo tipo de cemento para distintos tipos de agregados.

Palabras clave: curvas características, resistencia a la compresión, cemento modificado, agregado nacional, concreto.

## ABSTRACT

*This article presents the development curves of compressive strength through curing time for concrete mixtures made with three types of modified cements marketed in Costa Rica, and their combination with national aggregate from sources of pit and river. The cements used for the investigation were MM/A (E-C) – 28, MM/B (P-C) – 28 and MP A – AR, defined according to regulation RTCR 479:2015 Materiales de Construcción. Cementos Hidráulicos. Especificaciones. Due to the lack of resistance development curves for concrete made with different types of modified cements and aggregates commercialized in the country, the objective of this investigation was focused on obtaining such curves and the resistance development percentage. All the material used, was characterized according to the ASTM o INTECO standards procedures; it was also verified that the aggregates and cement to be used were adequate by the parameters established in ASTM C33/C33M-18 and INTE C147:2018, respectively. Cylindrical specimens of 150 mm x 300 mm were used to determinate the compressive resistance, being failed at 3, 7, 28 and 56 days; following a mix design determined from the ACI 211-91. A statistical analysis was performed to the generated data to establish relationships and support the results obtained. With this investigation it was possible to demonstrate that the cements commercialized in Costa Rica with a degree of blast furnace slag are able to present a significant resistance gain in the concrete after the 28 days of curing, the greater compressive resistance of the concrete is generated when using river aggregate, and generally the strength of the concrete does not vary significantly when using the same type of cement for different aggregates.*

*Keywords: characteristic curves, compressive strength, modified cement, national aggregate, concrete.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica uno de los materiales más utilizados para la construcción de todo tipo de estructura es el concreto hidráulico, debido a sus características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, siendo el cemento Portland uno de sus principales componentes. En el año 2015 se promulgó vía Decreto Ejecutivo 39414- MEIC-S, el Reglamento RTCR479:2015 Materiales de Construcción. Cementos Hidráulicos. Especificaciones, derogándose el reglamento anterior (RTCR 383:2004), permitiendo la importación de cemento hidráulico. Siendo el cemento un material de tan alta relevancia para la construcción de obras civiles, la inserción de nuevos cementos conduce a la necesidad de verificar su comportamiento al ser utilizados con agregados comercializados en el país.

Se utilizan tres tipos de cementos que en combinación con dos fuentes de agregados permiten desarrollar curvas características de resistencia a la compresión simple del concreto en función de su tiempo de curado.

### 1.1 Muestras de ensayo

**MM/A (E-C) – 28:** Es un cemento modificado hidráulico mixto, conteniendo en total una cantidad de escoria granulada de alto horno (E) y caliza (C) entre el 6 % y 20 % en masa, compuesto principalmente por clinker, clase A. Resistencia mínima de 28 MPa a los 28 días de curado.

**MM/B (P-C) – 28:** Cemento modificado hidráulico mixto, conteniendo en total una cantidad de materiales puzolánico (P) y caliza (C) entre el 21 % y 35 % en masa (modificado mixto), clase B. Resistencia mínima de 28 MPa a los 28 días de curado.

**MP A – AR:** Cemento modificado hidráulico puzolánico, compuesto por clinker y conteniendo entre el 6 % y 20 % de puzolana (P) en masa, de alta resistencia inicial. Resistencia mínima de 12 MPa a 1 día de curado y 24 MPa a los 3 días de curado.

**Agregados:** agregado fino y grueso de dos procedencias. La primera fuente corresponde a agregados extraídos de río, la segunda mediante extracción de tajo.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal corresponde con determinar la evolución de resistencia a compresión simple del concreto hidráulico en función del tiempo de curado para conocer el comportamiento de cementos modificados comercializados en el país en combinación con agregados nacionales de dos distintas procedencias. Para lograrlo se requiere caracterizar los materiales a emplearse en la elaboración de las mezclas de concreto por medio de ensayos en laboratorio, determinar la resistencia a la compresión y por medio de un análisis estadístico establecer relaciones y significancia de los resultados obtenidos como parámetro de validez de las curvas de desarrollo estándar.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Caracterización de los Materiales

A partir del material suministrado por las diferentes fuentes de agregados se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: análisis granulométrico (ASTM C136/C136M-14), densidad masiva (ASTM C29/C29M-17A), densidad relativa (ASTM C127-15 y ASTM C128-15), impurezas orgánicas en agregado fino (ASTM C40/C40M-16), abrasión en la Máquina de Los Ángeles para agregado grueso (ASTM C131/C131M-14) y porcentaje de partículas fracturas en el agregado grueso (ASTM D5821-13). Los ensayos para la caracterización de agregados se realizaron de forma repetida a tres muestras de cada tipo de agregado, excepto para el ensayo de granulometría, donde se ensayaron ocho réplicas, de esta forma se verifican los resultados obtenidos. Las muestras se tomaron del lote almacenado según lo establecido en la norma ASTM D75/D75M-14 (muestreo de agregado) y se redujeron según la norma ASTM C702/C702M-11 (reducción de agregado). Se verificó que el agregado cumpliera con los límites granulométricos establecidos en la ASTM C33/C33M-18 (especificaciones estándar para agregados para concreto)

Respecto a la caracterización de los cementos en estudio, se llevaron a cabo los ensayos de resistencia a la compresión en cubos de mortero (ASTM C109/C109M-16A), consistencia (ASTM C187-16), tiempo de fraguado (ASTM C191-13), densidad (ASTM C188-17), finura por tamiz No. 325 (ASTM C430-17) y medición del pH. Por cada tipo de cemento se realizaron 10 ensayos de los indicados anteriormente, excepto para el ensayo de medición del pH, para el cual se tomaron 3 muestras por cada tipo de cemento. Las muestras se extrajeron de sacos seleccionados al azar del lote que se usó para la fabricación de los especímenes cilíndricos de concreto según el procedimiento definido en la norma ASTM C183/C183M-16 (Práctica para el muestreo de cemento hidráulico).

## 3.2 Elaboración de Concretos

Luego de obtener las características de los agregados y el cemento, se realizó el diseño de mezcla según el método especificado en ACI 211-91 (práctica estándar para proporciones de concreto). A partir de los resultados de caracterización de los materiales se procede a la elaboración de las mezclas de concreto y fabricación de los especímenes cilíndricos según ASTM C192/C192M-16a (preparación y curado de especímenes de concreto en laboratorio), además se obtienen para cada una de las batidas, la densidad del concreto fresco (ASTM C138/C138M-17a), el contenido de aire del concreto (ASTM C231/C231M-17a), asentamiento de la mezcla (ASTM C143/C143M-15a) y temperatura de la mezcla (ASTM C1064/C1064M-17). Las combinaciones cemento-agregados empleadas se muestran en el Cuadro 1.

**Tabla 1. Tipos de materiales utilizados para las mezclas de concreto y cantidades de ensayos de resistencia a la compresión uniaxial.**

Mezcla de concreto	Tipo de cemento	Origen del agregado	Cantidad de especímenes ensayados a compresión
N° 1	MM/A (E-C)-28	Río	32
N° 2	MM/A (E-C)-28	Tajo	32
N° 3	MM/B (P-C)-28	Río	32
N° 4	MM/B (P-C)-28	Tajo	32
N° 5	MP A-AR	Río	32
N° 6	MP A-AR	Tajo	32

Para el curado de los especímenes cilíndricos se utilizó la metodología estandarizada al almacenarlos en cámara húmeda bajo condiciones ambientales controladas. Para los ensayos de compresión simple los especímenes son refrentados utilizando pulido en sus caras. Las edades de ruptura corresponden a las edades de 3, 7, 28 y 56 días bajo el procedimiento indicado en la norma ASTM C39/C39M-17B (método estándar para determinar el esfuerzo a compresión de especímenes cilíndricos de concreto).

## 3.3 Análisis de la Evolución de la Resistencia Compresiva y Estadístico

Se evaluó el comportamiento de desarrollo de resistencia a compresión simple en cada una de las mezclas de concreto elaboradas según su variación en el porcentaje de incremento de resistencia según la edad de curado. Su respectivo análisis estadístico permite identificar los resultados para cada una de las mezclas de concreto (promedio de la resistencia a la

compresión simple de 8 especímenes a una edad específica). Se aplicaron las pruebas de normalidad, análisis de varianza (ANOVA), comparación múltiple Tukey, intervalos de confianza, modelo regresión simple, y evaluación de los resultados de resistencia a partir de lo estipulado en la ACI 214R-11. (Evaluación de resultados para pruebas de resistencia de concreto). Finalmente se establecieron procesos complementarios de análisis, los cuales corresponden al promedio de resistencia desarrollada en función de los resultados a los 28 días de todos los especímenes cilíndricos de la misma edad elaborados de una mezcla de concreto, a los cuales se les aplicó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple Tukey.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de los Materiales

Respecto a los agregados gruesos, están constituidos principalmente por partículas fracturadas. Según especificaciones en la norma ASTM C33/C33M-18, los agregados gruesos en ambas fuentes cumplen con los límites granulométricos establecidos para un tamaño nominal de 12,5 mm a 4,75 mm y sus porcentajes de abrasión son inferiores al 50% (16 % para el caso del agregado de procedencia de río y 19 % para el caso del agregado de procedencia de tajo). Sus densidades relativas (2,63 para agregado de procedencia de río y 2,56 para agregado con procedencia de tajo) los clasifican como agregados con densidades normales.

Respecto a los agregados finos, cumplen con la granulometría sugerida en la norma ASTM C33/C33M-18. Sus densidades relativas (2,49 para agregado de procedencia de río y 2,55 para agregado con procedencia de tajo) los clasifican como agregados con densidades normales.

De la caracterización de los cementos se obtuvo que en todos los casos se cumplió con los parámetros establecidos en la norma INTE C147:2018, excepto el cemento tipo MM/B (P-C)-28, cuyo valor promedio de resistencia a los 28 días es ligeramente inferior a lo normado, sin embargo, su desviación estándar (0,2 MPa) permite la aceptación de la muestra.

Las mezclas de concreto en su estado fresco indican valores aceptables establecidos en la investigación como se detalla en la tabla 2. Se cumple para todos los casos un asentamiento dentro de un rango de 120 mm  $\pm$  20 mm y una relación a/c (agua / cemento) similar, indicativo de una consistencia conforme para todas las mezclas. El contenido de aire, densidad y temperatura sugieren un concreto de características convencionales. El ACI 301-10 (Especificaciones para concreto estructural) indica valores de tolerancia máxima

para contenido de aire de las mezclas de concreto de 5,5% para el caso de un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 12,5 mm y para la condición de exposición moderada. Así mismo indica una tolerancia máxima de 32°C para la temperatura del concreto. Las mezclas fabricadas cumplen éstas especificaciones.

Según indicaron las pruebas y resultados del análisis estadístico los datos generados siguen el comportamiento de una distribución normal, a partir de la prueba Kolmogorov- Smirnov.

Los resultados de la evaluación del tipo de control de mezclas de concreto indican valores desde buenas hasta excelentes. (Tabla 3).

**Tabla 2. Resultados de las propiedades físicas promedio de las mezclas de concreto en su estado fresco.**

Tipo cemento	Tipo agregado	Asent. (mm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	C.a (%)	Temp (°C)	Relación a/c
MM/A (E-C)-28	Río	125	2350	1,4	24,8	0,58
	Tajo	120	2280	1,3	24,9	0,58
MM/B (P-C)-28	Río	110	2340	1,6	26,0	0,57
	Tajo	100	2270	1,7	24,9	0,58
MP A - AR	Río	140	2290	2,0	24,5	0,58
	Tajo	100	2270	1,9	25,1	0,58

Asent: asentamiento. Rango de aceptación: 120 mm ± 20 mm  
 C.a: contenido de aire  
 Temp: temperatura  
 a/c: agua/cemento

**Tabla 3. Resultados de la evaluación de estándares de control según norma ACI 214R-11 para las mezclas de concreto elaboradas en laboratorio.**

Identificación mezcla	Resistencia promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente de variación (%)	Criterio de resistencia (MPa)	Tipo de control según desviación estándar (*)
Mezcla No. 1	34,2	1,88	5,49	$f'c < 34,5$	1,7 MPA A 2,1 MPA – <b>BUENO</b>
Mezcla No. 2	34,2	1,90	5,55	$f'c < 34,5$	1,7 MPA A 2,1 MPA – <b>BUENO</b>
Mezcla No. 3	29,7	0,92	3,11	$f'c < 34,5$	MENOR A 1,4 MPA – <b>EXCELENTE</b>
Mezcla No. 4	27,7	0,52	1,89	$f'c < 34,5$	MENOR A 1,4 MPA – <b>EXCELENTE</b>
Mezcla No. 5	39,7	1,13	2,85	$f'c > 34,5$	MENOR A 3,5 MPA – <b>EXCELENTE</b>
Mezcla No. 6	36,0	1,37	3,81	$f'c > 34,5$	MENOR A 3,5 MPA – <b>EXCELENTE</b>

Nota: (\*). Recuperado de “ACI 214R-11R-11”, 2011, pp. 7.

Adicionalmente se realizaron las pruebas de análisis de varianza (ANOVA) y comparación múltiple de Tukey, con las cuales se intenta demostrar diferencias significativas en el desarrollo de resistencia a la compresión de los concretos utilizando el promedio como el desarrollo porcentual. A partir de estas pruebas se determina que, generalmente, aquellas mezclas de concreto elaboradas con el mismo tipo de cemento, sin importar el agregado, no presentan diferencias significativas en su resistencia promedio a la compresión.

## 4.2 Desarrollo de Resistencias de Concreto

La tabla 4 y la figura 1 resumen los tipos de combinaciones de materiales utilizados para la fabricación del concreto, muestran para cada uno de ellos, la evolución de resistencia a la compresión en relación al tiempo de curado estándar.

Para el concreto elaborado con cemento tipo MM/A (E-C)-28 a la edad de 7 días el concreto con agregado de tajo presenta un mayor desarrollo de resistencia que el concreto con agregado de río, pero a los 56 días, el concreto con agregado de río muestra un mayor desarrollo de resistencia.

A utilizar el tipo de cemento MM/B (P-C)-28 para elaborar el concreto, el agregado de tajo desarrolló una resistencia a los 7 días ligeramente mayor (22,7 MPa) en comparación con la resistencia del concreto elaborado con agregado de río (22,3 MPa). Respecto a los valores de resistencia a los 56 días de curado, el comportamiento es inverso, siendo el concreto fabricado con agregado de río el que obtienen una mayor resistencia (34,1 MPa) en comparación con el concreto elaborado con agregados de tajo (29,2 MPa).

Tipo cemento	Tipo agregado	Resistencia a la compresión (MPa)				
		3 días	7 días	14 días	28 días	56 días
MM/A (E-C)-28	Río	13,4	23,2	-	34,2	42,0
	Tajo	18,8	24,8	-	34,2	36,9
MM/B (P-C)-28	Río	-	22,3	27,2	29,7	34,3
	Tajo	-	22,7	23,9	27,7	29,3
MP A - AR	Río	22,4	30,7	-	39,7	42,4
	Tajo	22,2	28,8	-	36,0	36,7

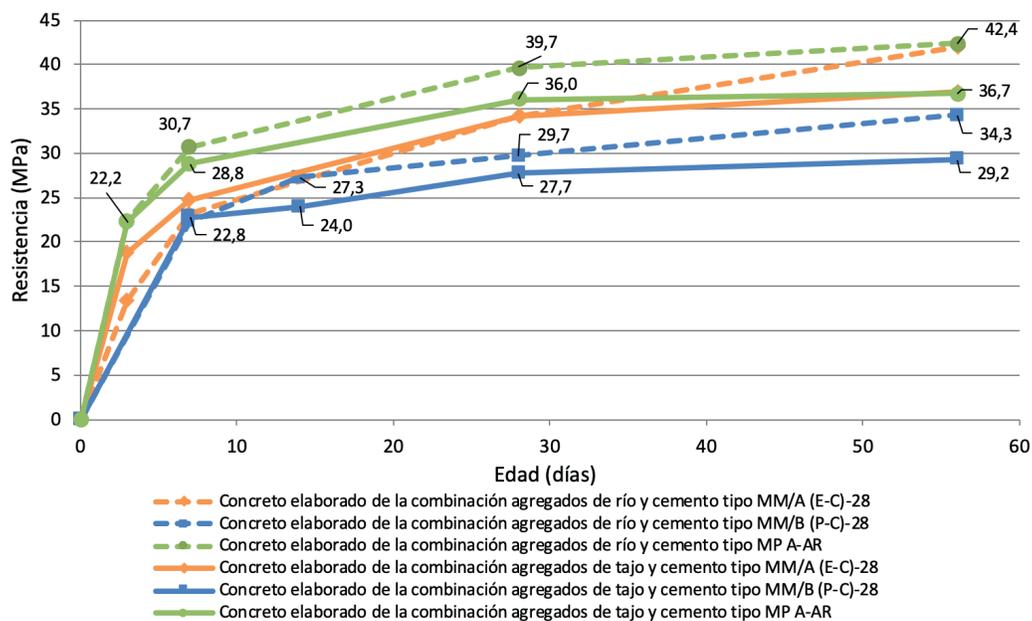


Figura 1. Curvas de desarrollo de resistencia a la compresión de concreto

Para el concreto elaborado con el cemento tipo MP A – AR se logró el mayor desarrollo de resistencia a los 7 días de curado. Si bien el desarrollo de resistencia a los 56 días no difiere demasiado de la resistencia a los 28 días, este tipo de cemento llega a alcanzar resistencias de hasta 39,7 MPa (con agregado de río) y 36,0 MPa (con agregado de tajo) a los 28 días, lo cual es considerablemente mayor a la resistencia de los otros dos tipos de cementos, por lo que este leve incremento en la resistencia a los 56 días no significa que el cemento no haya alcanzado una alta resistencia.

Al realizar un comparativo del desarrollo de resistencia porcentual (tabla 5) de los diferentes tipos de mezclas de concreto, tomando el valor de 28 días de curado como parámetro de referencia para el análisis y, por tanto, como el 100% de evolución de resistencia, es posible observar que, para la edad de 7 días de curado, el mayor desarrollo de resistencia corresponde al concreto elaborado con el cemento tipo MP A – AR, sin embargo, para este mismo cemento, los valores de resistencia, para la edad de 56 días resultan de menor evolución de desarrollo. El mayor desarrollo de evolución de resistencia a los 56 días corresponde a la mezcla fabricada con cemento tipo MM/A (E-C)-28.

## 5. CONCLUSIONES

La caracterización de los materiales permite verificar su idoneidad para ser utilizados en mezclas de concreto hidráulico.

Se corroboró que, en todos los casos, los datos obtenidos para las resistencias de con-creto siguen el comportamiento de una distribución normal. De acuerdo con los valores de desviación estándar obtenidos para los promedios de resistencia a una edad de 28 días de curado, el grado de control que se logró en los ensayos varió de bueno a excelente según lo indicado por el ACI 214R-11.

El concreto elaborado con cemento tipo MP A – AR y agregado de río o agregado de tajo es el que produce el mayor desarrollo de resistencia hasta los 28 días, pero a los 56 días su resistencia es igual a la del concreto elaborado con cemento tipo MM/A (E-C) – 28; mientras que el concreto con cemento tipo MM/B (P-C) – 28 es el que presenta el menor desarrollo de resistencia a todas las edades.

Las mayores diferencias en la evolución porcentual de resistencia (con base a los 28 días) de los concretos, se identifica a los 56 días de curado, donde los concretos fabricados con cemento tipo MP A – AR presentan una ganancia inferior al 6 %, valor considerablemente menor al 15 % o 20 % que pueden alcanzar los otros tipos de cementos.

El cemento tipo MP A – AR genera los concretos con mayor resistencia a la compresión a todas las edades de prueba para un mismo tipo de agregado, el cemento tipo MM/B (P-C) – 28 genera los concretos con menor resistencia a todas las edades de prueba para un mismo tipo de agregado, a una edad de 56 días el concreto con cemento tipo MM/A (E-C) – 28 puede llegar a alcanzar resistencias similares a las del cemento tipo MP A – AR.

**Tabla 5: Desarrollo porcentual de resistencia a la compresión de concreto con valor de referencia de 28 días de curado (100%)**

Tipo cemento	Tipo agregado	Desarrollo porcentual (%) con referencia a 28 días				
		3 días	7 días	14 días	28 días	56 días
MM/A (E-C)-28	Río	39,1	67,8	-	100	122,8
	Tajo	55,0	72,4	-	100	108,1
MM/B (P-C)-28	Río	-	75,2	91,8	100	115,5
	Tajo	-	82,1	86,5	100	105,4
MP A - AR	Río	56,4	77,3	-	100	106,8
	Tajo	61,7	80,0	-	100	101,9

## 6. REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2009). *ACI 211-91-91. Práctica estándar para la selección de las proporciones de concreto normal, pesado y masivo.*
- American Concrete Institute. (2011). *ACI 214R-11. Evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto.*
- American Concrete Institute. (2010). *ACI 301-10. Especificaciones para concreto estructural.*
- Decreto Ejecutivo N° 39414-MEIC-S Reglamento Técnico RTCR 479:2015 Materiales de Construcción, Cementos Hidráulicos.
- ASTM C29/C29M-17a. *Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario) y porcentaje de vacíos en los agregados.*
- ASTM C31/C31M-17. *Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en obra.*
- ASTM C33/C33M-18. *Especificación normalizada para agregados para concreto.*
- ASTM C39/C39M-17b. *Método estándar de prueba para la resistencia a la compresión de elementos cilíndricos de concreto.*
- ASTM C40/C40M-16. *Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en el agregado fino.*
- ASTM C109/C109M-16a. *Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.*
- ASTM C117-17. *Método de ensayo normalizado para materiales más finos que una criba no. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) en agregados minerales mediante lavado.*
- ASTM C127-15. *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa o gravedad específica, y la absorción de agregados gruesos.*
- ASTM C128-15. *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa o gravedad específica, y la absorción de agregados finos.*
- ASTM C131/C131M-14. *Método de ensayo estándar para la resistencia a la degradación del agregado por abrasión en la Máquina de los Ángeles.*
- ASTM C136/C136M-14. *Método de ensayo normalizado para la determinación de granulométrica de agregados finos y gruesos.*
- ASTM C138/C138M-17a. *Método de ensayo normalizado de densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.*
- ASTM C143/C143M-15a. *Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto de cemento hidráulico.*
- ASTM C183/C183M-16. *Práctica normalizada para muestreo y cantidad de pruebas de cemento hidráulico.*
- ASTM C187-16. *Método de ensayo estándar para la determinación de la cantidad de agua requerida para consistencia normal de una pasta de cemento hidráulico.*
- ASTM C188-17. *Método de ensayo estándar para la determinación de la densidad de un cemento hidráulico.*
- ASTM C191-13. *Método de ensayo estándar para la determinación del tiempo de fraguado por aguja de Vicat.*
- ASTM C192/C192M-16a. *Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio.*
- ASTM C231/C231M-17a. *Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de aire en mezcla de concreto fresco por medio del método de presión.*
- ASTM C305-14. *Práctica normalizada para el mezclado mecánico de pasta y morteros de cemento hidráulico de consistencia plástica.*
- ASTM C430-17. *Método de ensayo estándar para finura de cemento hidráulico por medio de tamiz de 45  $\mu\text{m}$  (N° 325).*
- ASTM C702/C702M-11. *Práctica normativa para reducir muestras de agregados a tamaño de prueba.*
- ASTM C1064/C1064M-17. *Método de ensayo normalizado de temperatura de concreto de cemento hidráulico recién mezclado.*
- ASTM D75/D75M-14. *Práctica normativa para el muestreo de agregados.*
- ASTM D-5821-13. *Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado.*
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2015). *INTE C-147:2015. Construcción. Cemento Hidráulico. Especificaciones y Requisitos.*
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* Estados Unidos de América: Portland Cement Association.