



Artículo Original

Predicción de la resistencia a compresión del concreto 1:2:3 a partir del tiempo de inicio fraguado

Prediction of the compressive strength of concrete 1:2:3 from the initial setting time

David A. Rodríguez Lacayo,¹ Juan Carlos Reyes, Karla Uclés

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras

Historia del artículo:

Recibido: 30 septiembre 2020

Revisado: 1 octubre 2020

Aceptado: 18 diciembre 2020

Publicado: 22 diciembre 2020

Palabras clave

Aditivo

Cemento

Compresión

Fraguado

Resistencia

Keywords

Additive

Cement

Compression

Setting

Strength

RESUMEN. Introducción: La resistencia a compresión del concreto es el parámetro de diseño más importante en proyectos de infraestructura de Honduras. El objetivo del estudio fue determinar la resistencia a compresión del concreto (con y sin aditivos acelerantes) a partir del tiempo de inicio de fraguado, usando un penetrómetro de bolsillo. Asimismo, se estudió la relación entre el tiempo inicial de fraguado y la relación agua/cemento. **Métodos:** Se elaboró mezclas de concreto hidráulico con proporción 1:2:3 para diferentes relaciones agua/cemento (0.4, 0.5 y 0.6). Se determinó el revenimiento y la resistencia a compresión a los 28 días, con extracción de muestras de mortero necesarias para hacer el ensayo del tiempo de inicio de fraguado. **Resultados:** Los hallazgos mostraron una relación lineal negativa entre el tiempo inicial de fraguado y la relación agua/cemento. La resistencia a compresión se pudo explicar por el tiempo de inicio de fraguado mediante la ecuación generada en 98% de las veces. **Conclusión:** El uso de aditivos acelerantes no contribuye a una mayor resistencia. Sin embargo, el uso de aditivos acelerantes hizo que la mayoría de las mezclas fueran más fluidas independientemente de la relación agua/cemento. Existe una correlación de utilidad entre la resistencia a la compresión del concreto y el tiempo de inicio del fraguado.

ABSTRACT. Introduction: The compressive strength of concrete is the most important design parameter in infrastructure projects in Honduras. The study aim was to determine the compressive strength of concrete (with and without accelerating additives) from the initial setting time by using a pocket penetrometer. Likewise, the relationship between the initial setting time and the water / cement ratio was studied. **Methods:** Hydraulic concrete mixes were made with a 1: 2: 3 ratio for different water / cement ratios (0.4, 0.5 and 0.6). Slump and compressive strength were determined at 28 days, with the extraction of mortar samples necessary to test the initial setting time. **Results:** The findings showed a linear negative relationship between the initial setting time and the water / cement ratio. The compressive strength could be explained by the initial setting time using the equation generated, 98% of the time. **Conclusion:** The use of accelerating additives does not contribute to increased strength. However, the use of accelerating additives made most of the mixes more fluid, regardless of the water / cement ratio. There is a utility correlation between the compressive strength of concrete and the initial setting time.

1. Introducción

El concreto es el material de construcción más ampliamente utilizado en el mundo, con una producción cercana a los 13,000 millones de metros cúbicos al año (Ceballos, 2016). La resistencia a compresión del concreto es uno de los parámetros más importantes en el diseño y construcción de cualquier tipo de estructura. Asimismo, esta

concatenada a la relación agua/cemento (A/C) de la mezcla y su combinación con agregados pétreos de características específicas. El Comité 318 del American Concrete Institute (ACI) especifica que la resistencia a compresión que se debe utilizar para diseño ($f'c$) debe basarse en ensayos a los 28 días de su fabricación (ACI Committee 318 & American Concrete Institute [ACI], 2014). Sin embargo, en algunos casos existe la necesidad de habilitar las obras antes de este tiempo, promoviendo el uso de acelerantes del fraguado y de

¹ Autor corresponsal: david09hn@unitec.edu, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras

Disponible en <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10646>

© 2020 Autores y UNITEC. Este es un artículo de acceso abierto según licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

resistencia del concreto. Se conoce como fraguado al proceso de mezclado en que se hidrata el cemento, acción que provoca la activación de sus componentes químicos y etapa en la que comienza el endurecimiento del concreto. Esto ocurre tanto sumergido como al aire, en condiciones de laboratorio. El fraguado puede llevarse a cabo, mediante la inmersión en agua de los cilindros de prueba o con el uso de aditivos acelerantes que no requieren inmersión en agua (ACI Committee 116 & American Concrete Institute [ACI], 2000).

Esta investigación considera que el tiempo de inicio de fraguado será determinado mediante el uso de un penetrómetro de bolsillo. Se considera como el inicio del fraguado, cuando la mezcla de concreto comienza a rigidizarse lo suficiente, para resistir la penetración de una aguja hasta un parámetro de presión establecido (ACI Committee 116 & American Concrete Institute [ACI], 2000). Según la norma técnica guatemalteca NTG 41017 H12, el tiempo de inicio de fraguado se da cuando la resistencia a la penetración de la aguja alcanza un valor de 500 psi.

El objeto del estudio fue investigar la relación entre la resistencia a compresión del concreto hidráulico (con y sin aditivos) y el tiempo de inicio de fraguado. Asimismo, se estudió la relación entre el tiempo de inicio del fraguado y la relación A/C. El tiempo fraguado se mide en función de la resistencia a la penetración especificada, a una porción tamizada del concreto. Se utilizó la norma COGUANOR NTG 41017 H12, equivalente a la norma ASTM C403/C403M-08, que indica el procedimiento a seguir para determinar el tiempo de fraguado en mezclas de concreto. Honduras no posee una norma propia para este ensayo. Por tanto, este estudio usó la norma COGUANOR NTG 41017 H12, norma guatemalteca configurada bajo las condiciones de la región centroamericana.

2. Métodos

2.1. Enfoque y alcance

Se hicieron ensayos de revenimiento, temperatura y tiempo de inicio del fraguado para diferentes relaciones de agua/cemento (A/C), elegidas arbitrariamente como 0.4, 0.5 y 0.6. Una vez endurecido el concreto, se llevó a cabo pruebas de resistencia a la compresión de control a los 28 días, para determinar su resistencia. Se estudió tres diferentes relaciones A/C: 0.4, 0.5 y 0.6. Las relaciones A/C se analizaron con y sin presencia de aditivo acelerante. Por otro lado, no se hizo diseño de mezcla porque la resistencia a la compresión variaría, con cada relación A/C. Consecuentemente, se estableció una misma dosificación por volumen (1:2:3), para todas las relaciones A/C.

La proporción fue elegida por ser de las más comunes en campo y la más económica en términos de cemento para obtener concretos con resistencias de hasta 3,000 psi. De cada mezcla A/C, se extrajo un mortero por tamizado en

húmedo, mediante tamiz de 4.75 mm (según COGUANOR NTG 41017 H12, equivalente a la norma ASTM C403/C403M-08ASTM C403), para todas las relaciones establecidas. Sobre el ensayo de penetración, se usó el penetrómetro de bolsillo. Según el fabricante, está calibrado para un rango de resistencia a la penetración de 0 a 700 psi. Consecuentemente, el ensayo se limita a obtener el tiempo de inicio de fraguado.

La resistencia a la penetración de las relaciones A/C (con y sin aditivo acelerante) se comparó con la resistencia a la compresión del concreto, con el fin de establecer una relación entre ellos. El aditivo acelerante utilizado es el conocido comercialmente como “Plasticón HQ – 100C” fabricado por una empresa local, según especificaciones de la norma ASTM C494. De acuerdo con la descripción del producto, se recomienda la obtención de resistencia a compresión máxima (a los 28 días) en un período entre 48 a 72 horas, posterior a su combinación con la mezcla de concreto (Honduras Química, s. f.).

El producto fue seleccionado por ser fabricado nacionalmente y por su fácil adquisición en ferreterías, a diferencia de otros aditivos similares que se adquieren directamente con los fabricantes. Adicionalmente, se registró la temperatura y humedad ambiente del laboratorio para controlar, ya que variaciones drásticas de las variables pueden afectar los tiempos de fraguado obtenidos. Los ensayos de la investigación utilizaron las siguientes indicaciones prescritas en las normas (ver Figura 1):

- ASTM C143/C 143M - 00: Método de ensayo para la determinación del revenimiento del concreto de cemento hidráulico (ASTM, 1997).
- COGUANOR NTG 41017 H12, equivalente a la norma ASTM C403/C403M-08ASTM C403: Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración (COGUANOR, 2013).
- ASTM C39: Método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM, 1997).
- ASTM C31: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra (ASTM, 2017).

2.2. Ensayos de laboratorio y procedimiento

2.2.1. Proporción de materiales

Para la elaboración de la mezcla de concreto hidráulico, se utilizó grava $\frac{3}{4}$ " y arena triturada. Sobre los agregados, se analizó algunas propiedades como ser pesos volumétricos y porcentajes de absorción. Los análisis se realizaron, con el objetivo de hacer correcciones de humedad y determinar la proporción por peso. Se trabajó con una proporción en volumen igual a 1:2:3 (cemento-arena-grava), con la variante de la relación A/C (0.4, 0.5 y 0.6) y las mismas

proporciones. Sin embargo, se utilizó el aditivo acelerante previamente definido, según las indicaciones de uso del fabricante (5 onzas por cada bolsa de cemento, combinados con el agua de la mezcla).

2.2.2. Revenimiento

Para determinar el revenimiento de la mezcla de concreto hidráulico, se utilizó el método del cono de Abrams basado en la normativa ASTM C 143 (ACI, 2015).

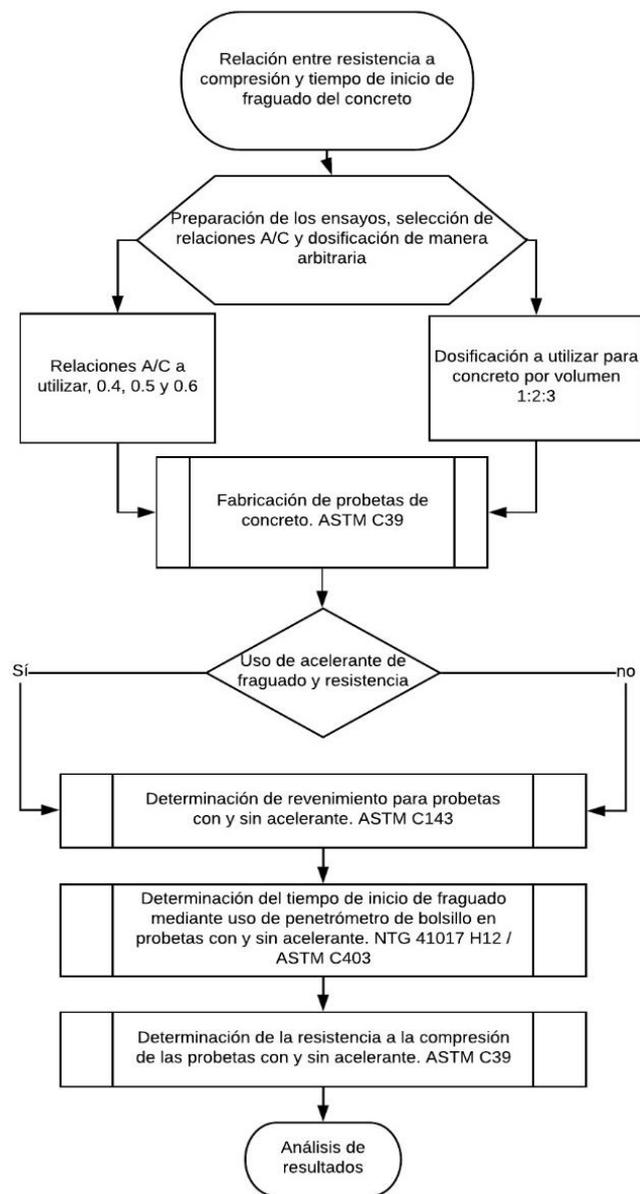


Figura 1. Algoritmo del proceso de experimentos.

El procedimiento consistió en colocar concreto compactado en capas dentro de un cono truncado no deformable, con medidas establecidas mediante las

normativas estándar. Dichas normativas incluyeron 12 pulgadas de altura, la base con una abertura de 8 pulgadas y en la parte superior un diámetro de 4 pulgadas. Se define revenimiento a la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla, cuando se ha asentado posterior a retirar el molde.

2.2.3. Preparación del mortero

Según la normativa NTG 41017 H12, el mortero debe ser extraído de la mezcla de concreto hidráulico para la prueba de penetración. Se considera mortero todas las partículas menores al tamiz #4, es decir, que posean diámetros menores a 4.75 mm. Para extraer el mortero, se utilizó una tamizadora hidráulica sobre una superficie no absorbente para evitar pérdidas de humedad del mortero.

Una vez extraído el mortero, se colocó en un recipiente con dimensiones estándar de 6” de diámetro y 6” de altura como mínimo. El mortero fue mezclado y compactado mediante métodos manuales a modo de evitar la presencia de vacíos. Este procedimiento, se realizó mediante varillado y aplicando golpes en el recipiente contenedor.

2.2.4. Penetración

Para el desarrollo de la investigación, se procedió según la normativa NTG 41017 h12. Se describe el proceso desarrollado a continuación. Se usó un penetrómetro de bolsillo para concreto marca Humboldt, modelo H-4134, con aguja de acero de 1/20 pulgadas de superficie. Este se basa en la norma ASTM C403, registrando lecturas de 0 a 700 psi indicados en una escala calibrada a un costado de este. El aparato está diseñado para medir el inicio de fraguado de una mezcla de mortero hidráulico, que se define como el punto en que el mortero se encuentra parcialmente hidratado y deja de ser trabajable.

Antes de iniciar el procedimiento, se verificó que la superficie de prueba estuviera libre de agua de exudación, para evitar el exceso de agua. Se utilizó una pipeta con el fin de extraerla de la muestra. Una vez preparada la muestra, el procedimiento fue tomar las lecturas. Esto se puede resumir en 5 pasos:

- El penetrómetro tiene un anillo indicador que se calibró hasta la marca de 0 psi, antes de realizar los ensayos.
- Para la prueba, se colocó totalmente perpendicular a la superficie de la muestra de mortero. Una vez colocado en posición, se ejerció presión hasta obtener la penetración de 1” (25.4 mm) en aproximadamente 10 segundos.
- Se extrajo el penetrómetro y se registró la presión ejercida en la escala lateral, según la posición del anillo indicador.
- Antes de realizar otra prueba, se deslizó el anillo indicador hacia la posición de 0 psi nuevamente.
- Se tomó diversas lecturas en intervalos de tiempo de 30 minutos hasta alcanzar la resistencia de 500 psi.

Se tomaron las siguientes precauciones para asegurar resultados confiables. A continuación, se enumeran las principales:

- El penetrómetro se trató de colocar totalmente perpendicular a la superficie del mortero.
- Entre cada prueba de penetración se limpió el penetrómetro, para evitar cualquier tipo de influencia en los datos debido a la suciedad del mismo.
- Para la separación entre las diversas pruebas de penetración, se consideró una distancia libre igual a dos diámetros de la aguja que se estuvo usando, pero no menor de 15 mm ($\frac{1}{2}$ pg) según establece la norma.
- Se procuró que la distancia libre entre cada penetración de la aguja y el lado del recipiente fuera por lo menos de 25mm (1 pg), pero no mayor que 50 mm (2 pulgadas).

2.2.5. Resistencia a la comprensión

Para cada relación A/C se elaboró 6 cilindros de prueba, 3 con aditivo y 3 sin aditivo (18 cilindros en total). Estos fueron sometidos a compresión a los 28 días después de su elaboración. Las pruebas de compresión realizadas cumplen con la normativa estándar ASTM C 39. Los moldes utilizados tienen dimensiones según la ASTM C 31, altura de 12 pulgadas y un diámetro interno de 6 pulgadas. El concreto hidráulico se colocó en 3 capas de igual grosor dentro del molde. Cada capa se compactó con una varilla metálica (con una altura, grosor y peso controlado). Posteriormente, se dejó reposar al aire durante 24 horas para después ser sumergidas en agua. Para la prueba de compresión, se utilizó una máquina de compresión universal marca Humboldt, modelo HCM-2500iH. La máquina es adecuada para cilindros, cubos, vigas y núcleos de mezclas de hormigón de resistencia estándar, con un rango de prueba de 2,500 a 250,000 lb (11 a 1112 kN) y una precisión de $\pm 0.5\%$ de la carga indicada. Es adecuada para resistencia de concreto de hasta 7,000 psi y para cilindros de 6" de

diámetro. Se debe aplicar carga en el cilindro hasta el punto de falla.

3. Resultados

El Cuadro 1 muestra que, a medida aumenta la relación agua/cemento, se dan los siguientes resultados:

- El revenimiento crece, haciendo que el concreto sea más fluido.
- La resistencia a compresión disminuye.
- El tiempo de inicio de fraguado aumenta.

Esto se debió a que la mezcla tuvo mayor contenido de poros llenos de agua y aire y provocaron el decrecimiento de la resistencia. Al mismo tiempo, tal como lo indica el revenimiento, la hizo más fluida. Además, provocó que la hidratación del cemento fuera más lenta, ya que existió más agua utilizable durante la reacción química.

3.1. Relación A/C vs. tiempo de inicio de fraguado

Como se aprecia en la Figura 2, cuando las relaciones A/C estuvieron debajo de 0.43 aproximadamente, el aditivo aceleró el tiempo de inicio de fraguado. Específicamente, cuando la relación A/C fue 0.40, el tiempo de inicio de fraguado se acortó en 51 minutos, con relación a las probetas control (sin aditivo). Para relaciones A/C de 0.5, el efecto fue inverso y contraproducente, ya que aumentó el tiempo de inicio de fraguado en 89 minutos.

Finalmente, para mayores relaciones de A/C (0.6), el uso de aditivo no afectó el tiempo de inicio de fraguado, ya que fue el mismo. Sin embargo, en la Figura 2, se observa que en ambos casos (mezclas con y sin aditivo acelerante), el tiempo de inicio de fraguado dependió de la relación A/C. A menor relación A/C se dio un menor tiempo de inicio de fraguado. Lo anterior se debe a que existió menor cantidad de agua que fue consumida en la etapa de hidratación del cemento. Por lo tanto, esta etapa fue más corta.

Cuadro 1

Resumen de resultados a medida aumenta la relación agua/cemento.

Relación A/C	Aditivo	Revenimiento Pulgadas	Resistencia Promedio 28 días		Tiempo de inicio del fraguado		
			kg/cm ²	lb/plg ²	Horas	Minutos	hrs-min
0.4	Sin	0.4	226.7	3,224.5	3.11	186	3 horas 7 minutos
	Con	0.0	200.5	2,851.7	2.24	135	2 horas 15 minutos
0.5	Sin	0.9	166.2	2,364.0	3.43	206	3 horas 26 minutos
	Con	2.0	131.0	1,864.0	4.92	295	4 horas 56 minutos
0.6	Sin	4.7	115.9	1,649.1	5.78	347	5 horas 46 minutos
	Con	6.5	100.1	1,423.6	5.79	348	5 horas 47 minutos

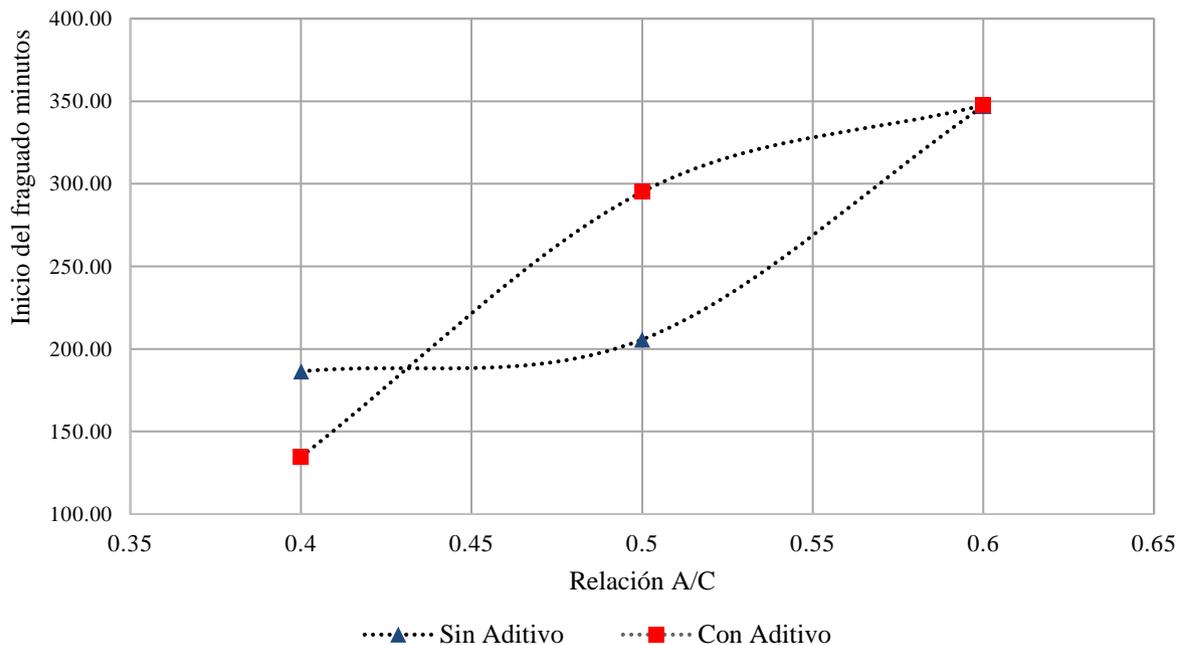


Figura 2. Tiempo de inicio de fraguado.

3.2. Análisis estadísticos

Bajo las condiciones mostradas en el Cuadro 1, el objetivo principal del estudio fue determinar si existe una relación entre las variables que se describen a continuación.

- Variable dependiente: Resistencia a compresión del concreto
- Variable independiente: Tiempo de inicio de fraguado

No se analizó otras variables como revenimiento y temperatura, debido a que no tuvieron incidencia en las variables principales mencionadas. Durante el corto período de tiempo entre las diferentes pruebas, la temperatura se pudo considerar una variable controlada (que no se modificó a lo largo de la experimentación). Sobre el revenimiento, es una forma de concluir sobre la fluidez de una mezcla, que se relaciona con la trabajabilidad. La trabajabilidad es utilizada como control de calidad, en función del proceso requerido para el vertido del concreto. La misma no tiene relación directa con la resistencia a compresión, pero sí con la relación A/C. El Cuadro 2 presenta los datos utilizados para el análisis de regresión lineal. Los datos se obtienen del Cuadro 1. No obstante, se eliminó uno de los resultados, específicamente la muestra de concreto con una relación A/C de 0.4 sin aditivo. Esto se debió a que el valor se encontró lejos de la regresión lineal desarrollada y distorsionó la correlación entre las variables de estudio.

Cabe mencionar que durante el proceso de ejecución de los diversos ensayos de laboratorio se utilizó los mismos equipos, procedimientos y herramientas. Lo que varió fue la mano de obra, específicamente al elaborar las probetas de concreto que posteriormente se sometieron a compresión. Durante la supervisión de la elaboración de las probetas no fue evidente un posible origen o causa por lo que el experimento específico de A/C=0.4 (sin aditivo) resultó disperso en relación con los otros cinco datos.

Cuadro 2
Datos para el análisis estadístico.

Relación A/C	Aditivo	Resistencia promedio 28 días psi	Inicio del Fraguado (Horas)
0.4	Con	2851.7	2.24
0.5	Sin	2364.0	3.43
	Con	1864.0	4.92
0.6	Sin	1649.1	5.78
	Con	1423.6	5.79

La Figura 3 muestra los datos del Cuadro 2 gráficamente. Los resultados del modelo de regresión lineal generado describen un coeficiente de determinación $R^2 = 0.98$. Este coeficiente determina el grado de ajuste de la recta de regresión a los valores de la muestra. Numéricamente hablando, el coeficiente R^2 toma un valor adimensional entre 0 y 1, entre más cercano a uno se encuentre, indica que las variables tienen una mayor fuerza de correlación.

El coeficiente de determinación obtenido equivalente a 98% (>95%) indicó que existe una correlación de utilidad entre la resistencia a la compresión del concreto y el tiempo de inicio del fraguado. La ecuación generada fue capaz de predecir la resistencia del concreto a partir del tiempo de inicio del fraguado.

4. Discusión

El presente estudio se realizó, según las especificaciones en las normas ASTM que rigen cada uno de los ensayos propuestos. Piyasena et al (2013) recomiendan que para determinar específicamente el tiempo de inicio de fraguado es recomendable la prueba de penetración mediante el penetrómetro, realizada sobre el ensayo vicat. Esto se debe a que los resultados generados en sus ensayos fueron más en línea con la realidad de la práctica común de la fabricación de concreto.

La relación entre el tiempo de inicio de fraguado y la resistencia a la compresión obtenida indica que a mayor tiempo de inicio de fraguado se da una menor resistencia, manteniendo comportamiento casi lineal decreciente en ambos casos (mezclas con y sin aditivo). Para resistencias menores a 2400 psi aproximadamente, sus tiempos son prácticamente iguales. Para resistencias mayores a 2400 psi los resultados no son concluyentes, ya que la dispersión es alta. El aditivo acelerante no debería influir en la resistencia

a compresión del concreto a los 28 días. Estos aditivos están fabricados con el objetivo de obtener resistencias elevadas en pocos días de fraguado, más no aumentan ni disminuyen la resistencia final. Sin embargo, según los resultados obtenidos, su uso provoca que la mezcla de concreto se vuelva más fluida. Esto podría representar una ventaja en función de la trabajabilidad del mismo. De los ensayos realizados, solamente se puede decir que el revenimiento mantiene una tendencia creciente a medida aumenta el tiempo de inicio de fraguado. Con la cantidad de probetas ensayadas, no fue suficiente establecer una relación más contundente.

Para el estudio, solo se utilizó el aditivo acelerante “Plasticón HQ – 100C.” La aplicación fue según las indicaciones de la hoja técnica (5 onzas por cada bolsa de cemento, combinados con el agua de la mezcla). Sin embargo, considerando los resultados, el fabricante recomienda utilizar menor cantidad de agua para que la mezcla sea más consistente. En este estudio, la cantidad de agua se mantuvo según la dosificación. Para una futura línea de investigación asociada, se podrían comparar los resultados considerando esta recomendación. En el estudio realizado por Galobardes et al. (2009) se determinó que el uso de aditivos acelerantes provoca una desviación estándar en los resultados de la prueba de compresión del concreto de aproximadamente un 20 % con relación a probetas que no usan aditivo acelerante.

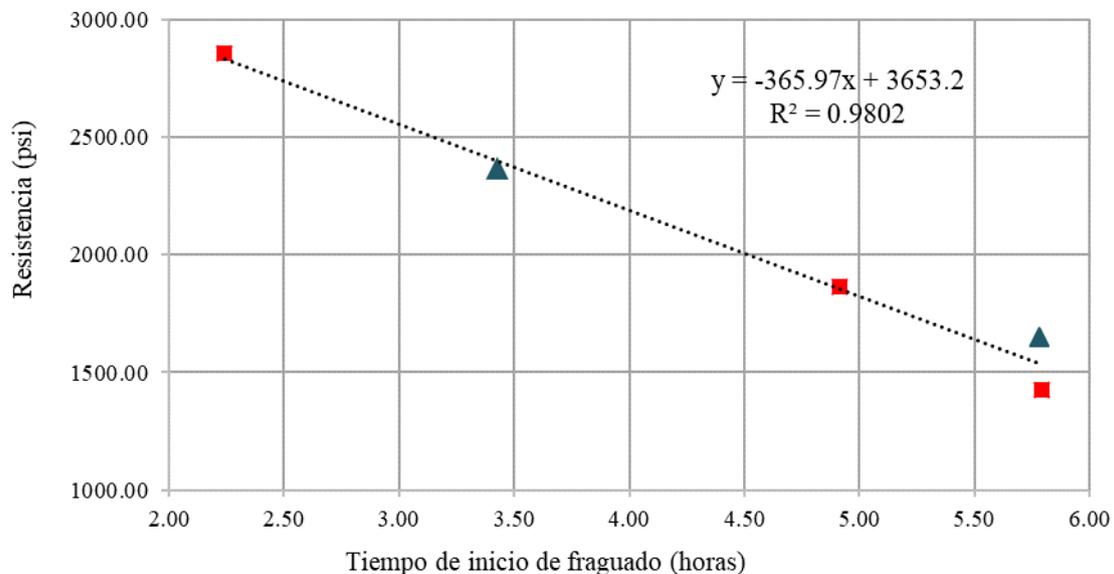


Figura 3. Relación entre la resistencia a la compresión y el tiempo de inicio de fraguado del concreto (con y sin aditivo).

Comparando dicho hallazgo con los resultados obtenidos, se puede ver que están dentro del mismo rango (con tendencia a mantenerse por debajo de la media). Según

dicho autor, este comportamiento se debe a que las propiedades de la mezcla varían una vez que se incorporan aditivos acelerantes. Por lo tanto, es necesario adecuar la

manera en cómo se evalúan sus propiedades (en estado fluido, viscoso o endurecido) (Galobardes et al., 2012).

Por otro lado, el aditivo acorta el tiempo de inicio de fraguado hasta en 51 minutos, cuando la relación A/C es menor a 0.45 (aproximadamente), mientras que para las relaciones A/C cercanas a 0.50, el efecto es opuesto al esperado. Esto se da porque el tiempo de inicio de fraguado es mayor (en 89 minutos) cuando se usa el acelerante. Por último, en la relación A/C de 0.60, se observa que el tiempo de inicio de fraguado es prácticamente el mismo, ya que el tiempo disminuye en 1 min. En otro estudio realizado por Galobardes et al. (2009) se indicó que la inclusión del aditivo acelerante a la mezcla generó un comportamiento no lineal entre la resistencia a la penetración y el tiempo de fraguado. Dichas variaciones encontradas en los tiempos son esperables.

Sobre la relación A/C y la resistencia a compresión del concreto, se comprobó que a menor relación A/C se dio una mayor resistencia. Sin embargo, el uso de aditivo provocó una disminución en la resistencia en un promedio de alrededor del 15 %, lo que podría indicar que el tratamiento de las probetas de concreto luego de su fabricación fue inadecuado o que el procedimiento para evaluar las probetas con aditivo debe ser diferente, tal como ha sido planteado (Galobardes et al., 2009).

Comparando los resultados de Walz (1971) se confirma que la resistencia a compresión del concreto dependió directamente de la relación agua/cemento. Por lo que, a mayor contenido de agua, la resistencia del concreto fue cada vez menor. Los datos indicaron que la variable dependiente (resistencia del concreto en psi), por la independiente (tiempo de inicio de fraguado en horas), fue estadísticamente significativa. Esto significa que puede descartarse que la correlación haya aparecido por azar, ya no hubiera dicha asociación. Los resultados como el observado serían poco probables. Se concluye con la evidencia estadística que, bajo las mismas condiciones, seguirán el mismo patrón de comportamiento que se puede relacionar bajo la siguiente expresión:

$$y = 3,653.20 - 365.97(x) \quad (1)$$

Donde:

“y” representa la variable dependiente (Resistencia a la compresión)

“x” representa la variable independiente (Tiempo de inicio de fraguado)

5. Conclusión

Se mostró que la resistencia a compresión del concreto se explicó por el tiempo de inicio de fraguado en 98 % de las veces. Esto se dio indistintamente de la relación A/C utilizada y de la inclusión o no de aditivo acelerante. Por otra parte, el uso de aditivo acelerante hizo que las mezclas

tuvieran un aumento en el revenimiento de más del 100%, para la relación A/C de 0.50 y de casi un 40% para la relación A/C de 0.60. Por lo tanto, la mezcla resultó más fluida cuando se usó aditivo acelerante para las relaciones A/C estudiadas.

6. Contribución de los Autores

Todos los autores participaron por igual en la recolección de datos, en la revisión de la literatura incluida y redactaron el manuscrito.

7. Conflictos de Interés

Los autores no tienen ningún conflicto de interés relacionado a este trabajo.

8. Referencias Bibliográficas

- ACI. (2015). Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318SUS-14). www.concrete.org
- ACI Committee 116, & American Concrete Institute (ACI). (2000). Terminología del cemento y el hormigón. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, ACI. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/terminologia-del-cemento-y-el-hormigon>
- ACI Committee 318, & American Concrete Institute (ACI). (2014). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14): an ACI standard and commentary on building code requirements for structural concrete (ACI 318R-14): an ACI report*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, ACI.
- ARGOS. (2018). Resistencias del concreto. www.360enconcreto.com
- ASTM. (1997). *An American National Standard*. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM C143 / C143M-00. *Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000. www.astm.org.
- ASTM C31 /C31M-17, *Historical Standard: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra*. ASTM International. West Conshohocken, PA, 2017. www.astm.org.
- Baca Pinelo, J. F., & Boy Sánchez, J. R. (2015). *Influencia del porcentaje y tipo de acelerante, sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de un concreto de rápido fraguado (Tesis de Investigación)*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/2549>.
- C09 Committee. (s. f.). Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *ASTM International*. https://doi.org/10.1520/C0494_C0494M-05.
- Ceballos, M. (2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 24-25. <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/agosto2016/experto.pdf>
- COGUANOR. (2013). *Norma técnica guatemalteca*. COGUANOR NTG 41017 h12. https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/Inversion%20y%20Competencia/catalogo_coguanor_2018v2.pdf

- Consejo Nacional de Normalización. (2005). *Aditivos químicos para concreto. Especificaciones*. Comisión Guatemalteca de Normas. https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_coguanor_ntg_41048_astm_c685-07.pdf
- Dobrowolski, W. (2001). *Manual de la Construcción con Concreto*. México: Mc Graw Hill.
- Gabalec, M. (2008). *Tiempo de fraguado del hormigón*. Universidad tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina. <https://www.frcon.utn.edu.ar/wpfrcon/wp-content/uploads/2019/09/Tecnolog%C3%ADa-del-Hormig%C3%B3n-2019.pdf>
- Galobardes, I. (2009). *Estudio relativo a la caracterización de aditivos acelerantes para hormigón proyectado por vía húmeda*. <http://hdl.handle.net/2099.1/8511>
- Galobardes, I., Cavalaro, S., Figueiredo, A., García, T., Rueda, A., & Pérez, J. (2012). *Adaptación del ensayo de determinación de resistencias mecánicas para morteros con aditivos acelerantes de fraguado* (Vol. 54, p. 14). Presentado en IBRACON (Congreso Brasileiro do Concreto), Brasil: IBRACON.
- Honduras Química. (s. f.). Descripción y usos de PLASTICON. <https://1024-hn.all.biz/acelerante-para-concreto-g155>
- Kosmatka, S. H. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois: Portland Cement Association.
- López, E. R. (2000). *Materiales para el concreto*. Lima, Perú.
- Piyasena, R. R. C., Premerathne, P. A. T. S., & Nanayakkara, S. M. A. (2013). *Evaluation of Initial Setting Time of Fresh Concrete*. National engineering conference 2013, 19TH, Sri Lanka.
- Testing Equipment for Construction Materials. (2009). *Product Manual: Concrete Pocket Penetrometer*. https://www.humboldtmg.com/manuals/H-4134_man_0809.pdf
- Walz, K. (1971). Relación entre el factor agua/cemento, la resistencia normalizada del cemento (DIN 1 164, junio 1970) y la resistencia del hormigón a la compresión. *Materiales de Construcción*, 21(143), 45-55. <https://doi.org/10.3989/mc.1971.v21.i143.1502>.