

Análisis de la influencia de aditivo acelerante en el tiempo de fraguado y resistencia a la compresión del concreto

Analysis of the influence of accelerating additive on the setting time and compressive strength of concrete

Jesús Fernando Valdés Vázquez^{1*}, Jesús Gerardo Valdés Vázquez¹, Diego Acosta Quiroz¹, Juan Gerardo Anguiano González¹, David Tirado Torres¹, César Leonardo Ruiz Jaime¹

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Gto.
valdesjfv@ugto.mx, valdes@ugto.mx, d.acosta.quiroz@ugto.mx, jg.anguianogonzalez@ugto.mx, d.tirado@ugto.mx, cl.ruiz@ugto.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

En este trabajo de investigación se hace un análisis de la influencia de un aditivo acelerante en las propiedades del concreto específicamente en su tiempo de fraguado y resistencia a la compresión. La inclusión de estos aditivos es una práctica común en la industria de la construcción para optimizar los tiempos de ejecución, especialmente en condiciones donde se requiere un fraguado rápido o se trabaja a bajas temperaturas. Se investigará cómo estos aditivos modifican la cinética de hidratación del cemento, influyendo directamente en la ganancia temprana de resistencia y en la resistencia final del material. Los resultados se comparan con aquellos obtenidos de la realización de cilindros sin aditivo acelerante.

Palabras clave: Concreto; aditivo; acelerante; resistencias.

Abstract

This research paper analyzes the influence of an accelerating admixture on concrete properties, specifically its setting time and compressive strength. The inclusion of these admixtures is a common practice in the construction industry to optimize construction times, especially in conditions requiring rapid setting or working at low temperatures. The study will investigate how these admixtures modify cement hydration kinetics, directly influencing early strength gain and the final strength of the material. The results are compared with those obtained from cylinders without an accelerating admixture.

Key Words: Concrete; additive; accelerant; strength.

Introducción

El concreto es el material de construcción más utilizado a nivel mundial y sus propiedades mecánicas y de durabilidad son fundamentales para la seguridad y el desempeño de las estructuras. El concreto ha sido objeto de constantes investigaciones para optimizar sus propiedades y rendimiento. La resistencia del concreto depende de la calidad y proporción de los materiales que lo componen, de la calidad de la mano de obra y de los cuidados posteriores al vaciado (Castellón & De la Ossa, 2013).

La velocidad a la que el concreto desarrolla su resistencia inicial es un factor crítico en muchos proyectos de construcción, afectando la programación, los costos y la eficiencia de la obra. En este contexto, los aditivos acelerantes desempeñan un papel crucial, los cuales presentan una de las áreas de estudio más relevantes, consisten en la modificación de sus tiempos de fraguado y el desarrollo temprano de su resistencia, aspectos cruciales para la eficiencia de los proyectos constructivos.

Estos aditivos acelerantes son sustancias químicas que, al añadirse a la mezcla del concreto, tienen la capacidad de reducir significativamente el tiempo necesario para que el cemento comience a endurecerse (fraguado inicial) y/o incrementan la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas. Su aplicación es especialmente relevante en condiciones climáticas adversas, como bajas temperaturas que retarden la hidratación del cemento, para las reparaciones urgentes de estructuras, en la construcción de elementos prefabricados, o cuando se requieren desencofrar rápidamente para agilizar ciclos de construcción.

Si bien los beneficios de los aditivos acelerantes son evidentes en términos de productividad, la alteración de la cinética de hidratación del cemento puede tener efectos secundarios en las propiedades a largo plazo del concreto, como su resistencia final a la compresión a diferentes edades de curado o su durabilidad. Es esencial comprender si la aceleración del fraguado compromete la resistencia a largo plazo.

En este trabajo se enfoca en cuantificar la influencia de diferentes dosificaciones de aditivo acelerante en el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades de curado.

Objetivo del estudio

El objetivo principal de esta investigación es cuantificar el impacto del aditivo acelerante en la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades de curado. Se buscará determinar como la inclusión de estos aditivos influyen en el desarrollo de la resistencia del concreto desde edades tempranas (3 días), hasta edades más avanzadas (7 y 14 días), en comparación con mezclas de concreto sin aditivos. Adicionalmente, se analizará la influencia de estos aditivos en el tiempo de fraguado inicial y final.

Antecedentes

La acción de los aditivos acelerantes se basa principalmente en la modificación de la hidratación del cemento. Los acelerantes de fraguado actúan sobre la fase de los aluminatos, mientras que los acelerantes de endurecimiento actúan sobre la fase de los silicatos, aunque muchos aditivos comerciales combinan ambos efectos.

Los aditivos acelerantes más comunes incluyen cloruros, como el cloruro de calcio, CaCl_2 , nitratos, como el nitrato de calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, tiocianatos, como tiocianato de sodio NaSCN y trietanolamina. Si bien el cloruro de calcio fue uno de los primeros y más efectivos acelerantes, su uso ha disminuido debido a su potencial para inducir la corrosión del acero de refuerzo. Esto ha llevado al desarrollo y la adopción de acelerantes libres de cloruro, que ofrecen beneficios similares sin el riesgo de corrosión.

Los aditivos acelerantes pueden reducir significativamente el tiempo de fraguado inicial y final del concreto. Sin embargo, el impacto en la resistencia a la compresión es más complejo y depende de factores como la dosificación del aditivo, el tipo de cemento y su dosificación, la relación agua/cemento, la temperatura ambiente y las condiciones de curado.

Algunos estudios reportan un aumento en la resistencia temprana, sin embargo, es crucial investigar si este desarrollo acelerado afecta la microestructura final del concreto y consecutivamente una disminución en la resistencia a edades posteriores.

Metodología

El estudio de Gómez *et al.* (2021) empleó un diseño de investigación experimental robusto, asegurando la validez estadística mediante un muestreo probabilístico y un mínimo de tres repeticiones para cada unidad experimental. Esta aproximación metodológica es fundamental para establecer la fiabilidad de los resultados obtenidos. Para alcanzar el objetivo planteado, se propone la siguiente metodología experimental:

1. Materiales

- Cemento: Se utilizará cemento Pórtland gris comercial.
- Agregados: Agregados finos (arena) y gruesos (grava).
- Agua: Se usará agua potable.

- Aditivo acelerante: Se empleará un aditivo comercial. Se estudiarán diferentes dosificaciones, tales como (1.00 L, 1.20 L, 1.40 L, 1.60 L, 1.80 L, 2.00 L en peso del cemento).
2. Diseño de Mezclas de Concreto: se establecerán al menos dos tipos de mezclas de concreto:
- Una mezcla de referencia, sin la adición de acelerante.
 - Mezclas con la incorporación de aditivo acelerante comercial, siguiendo las dosificaciones recomendadas por el fabricante y explorando diferentes dosificaciones.
 - Se mantendrá constante la relación agua/cemento y el tipo de agregados para asegurar una comparación equitativa.
3. Preparación de Probetas: se moldearán probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm de concreto con diferentes dosificaciones de aditivos y sin aditivo, elaborándolo por volúmenes siguiendo las proporciones establecidas que vienen en los bultos de cemento, considerando una resistencia de 250 kg/cm² de acuerdo con las normativas vigentes ASTM C39/C39M para cada tipo de mezclas y cada curado a evaluar. Se usará un mínimo de 3 probetas para cada una de las diferentes dosificaciones.
4. Tiempo de fraguado: las probetas serán desmoldadas a las 24 horas de haber sido realizadas.
5. Curado de probetas: las probetas serán curadas bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, siguiendo lo establecido en la normatividad vigente ASTM C511, hasta el momento de los ensayos.
6. Ensayos de resistencia a la Compresión: se realizarán ensayos de resistencia a la compresión axial de las probetas a diferentes edades: 3, 7, 14 y 28 días, haciendo uso de un mortero de azufre, de acuerdo con la norma ASTM C39/C39M. Se ensayarán al menos tres probetas por cada edad y condición.
7. Análisis de datos: los resultados obtenidos serán tabulados y se realizará un análisis estadístico para comparar las resistencias a la compresión de las diferentes mezclas y edades de curado.

Resultados

Los resultados obtenidos de los ensayos de tiempo de fraguado y resistencia a la compresión se presentan a continuación.

La Figura 1 muestra la resistencia a la compresión del concreto en función del tiempo (1, 3, 7, 14 y 28 días), observándose una relación lineal de aumento significativo.

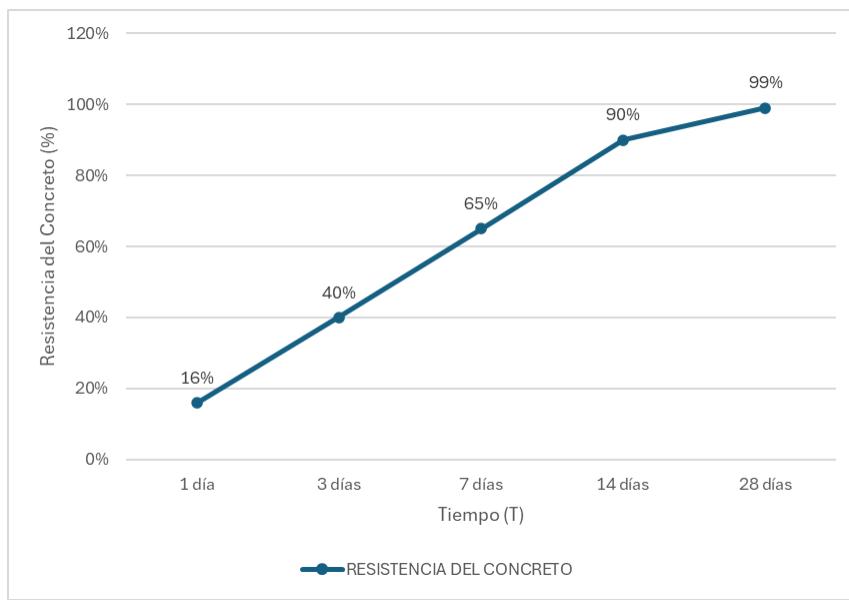


Figura 1. Resistencia del Concreto sin Aditivos.

Por otro lado, la Figura 2 ilustra la resistencia a la compresión del concreto cuando se emplea un aditivo acelerante, destacando una correlación lineal en los tiempos intermedios (3, 7 y 14 días).

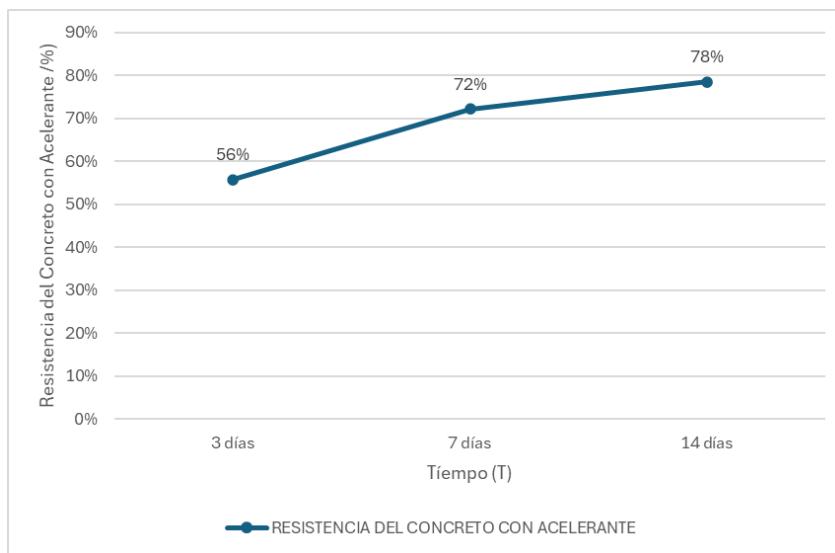


Figura 2. Resistencia del Concreto con Aditivo Acelerante.

El análisis del impacto del aditivo acelerante en la resistencia a la compresión del concreto en edades intermedias (3, 7 y 14 días) reveló efectos significativos. Se observó un incremento en la resistencia del concreto con la adición del acelerante en comparación con las muestras de referencia sin aditivos.

Especificamente, a los 3 días, se registró un aumento del 16 % en la resistencia, mientras que, a los 7 días, el incremento fue del 7 % respecto a la resistencia del concreto sin aditivos, como se ilustra en la Figura 1.

No obstante, a los 14 días, el aditivo acelerante mostró un efecto negativo, resultando en una disminución gradual del 12 % en la resistencia en comparación con el concreto sin aditivos (Figura 1).

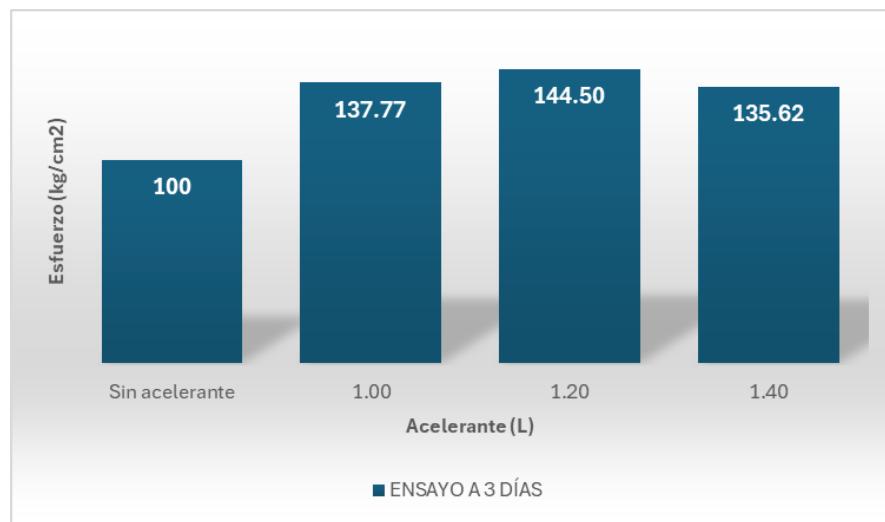


Figura 3. Ensayo a los 3 días de fraguado con diferentes cantidades de acelerante.

La Figura 3 presenta los resultados de la resistencia a la compresión de las probetas con y sin aditivo acelerante. Se observó que todas las probetas con aditivo acelerante alcanzaron una resistencia promedio de 39.29 % superior en comparación con la probeta de control (sin acelerante).

Contrario a la expectativa inicial de la correlación directa entre la cantidad de acelerante y la resistencia obtenida, se identificó un comportamiento inesperado. Específicamente, la probeta con una dosificación de 1.40 L de acelerante por peso de cemento mostró una resistencia inferior a las obtenidas con 1.00 L y 1.20 L. Aunque esta resistencia se mantuvo por encima de la probeta sin acelerante, la reducción observada sugiere que el acelerante no está optimizando su función a dosis más altas de lo esperado.

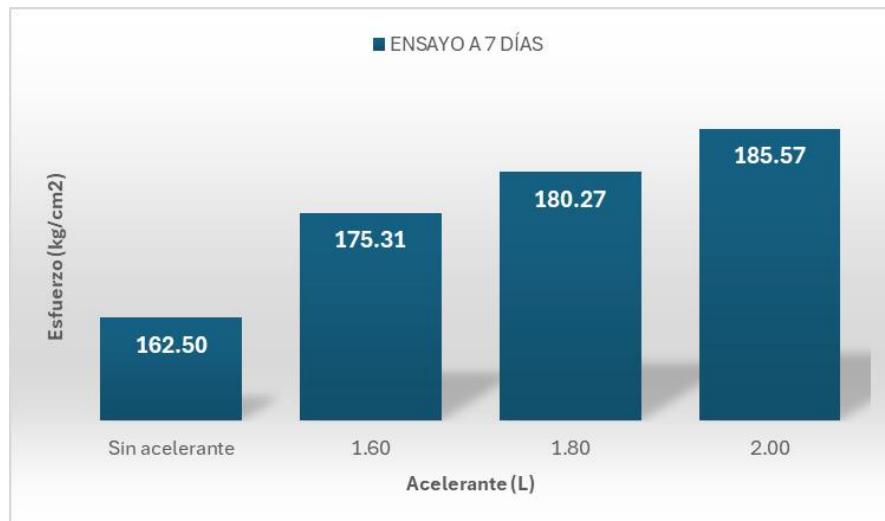


Figura 4. Ensayo a los 7 días de fraguado con diferentes cantidades de acelerante.

Los resultados de los ensayos a los 7 días revelaron que la adición del aditivo acelerante incrementó significativamente la resistencia a la compresión de las probetas. En promedio, las muestras con acelerante mostraron un aumento del 17.88 % en la resistencia en comparación con las probetas de control sin aditivo. Este incremento fue directamente proporcional a la concentración del acelerante, lo cual concuerda con el comportamiento esperado de este tipo de aditivos.

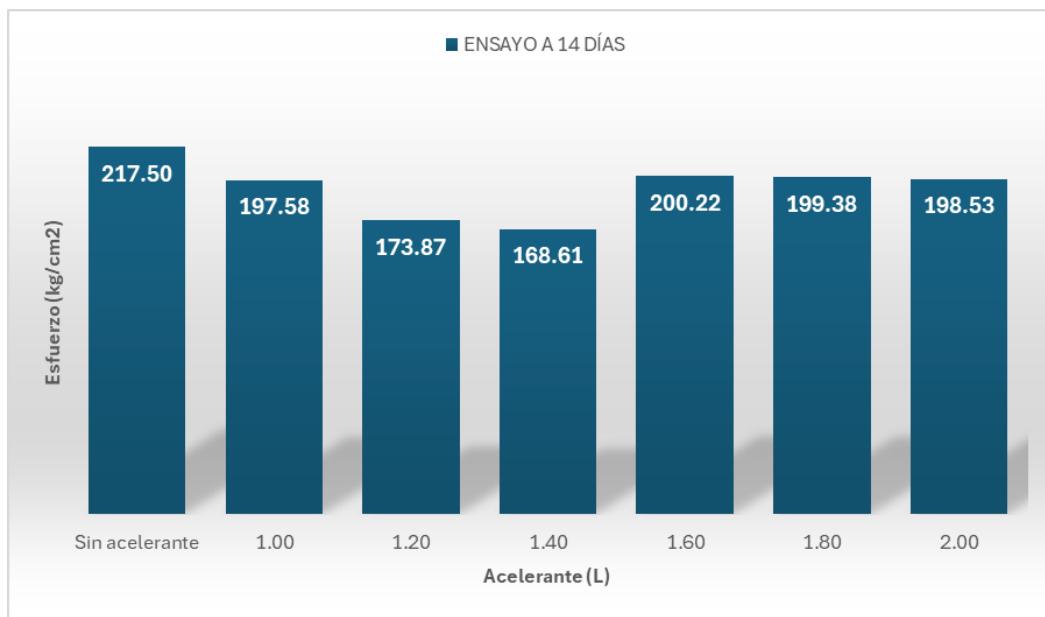


Figura 5. Ensayo a los 14 días de fraguado con diferentes cantidades de acelerante.

En los ensayos realizados a los 14 días de fraguado, se evaluaron seis probetas con diferentes dosificaciones de acelerante. Los resultados revelaron un hallazgo significativo: ninguna de las probetas con acelerante alcanzó o superó la resistencia a la compresión del cilindro de control (sin acelerante). En promedio, se observó un decremento del 27.80 % en la resistencia.

Específicamente, las tres primeras probetas, que contenían entre 1.00 y 1.40 litros de acelerante por peso de cemento, mostraron una disminución de la resistencia directamente proporcional al aumento de la cantidad de acelerante. Sin embargo, la probeta con 1.60 litros de acelerante por peso de cemento, presentó un incremento en la resistencia en comparación con las tres muestras anteriores. Posteriormente, las probetas con 1.80 y 2.00 litros de acelerante por peso de cemento volvieron a mostrar un decrecimiento en la resistencia en comparación con la muestra de 1.60 litros.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación revelan efectos mixtos del aditivo acelerante en la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades.

Hallazgos Clave de la Investigación

Un hallazgo crucial fue la relación no lineal entre la cantidad de acelerante y la resistencia a los 3 días. A pesar de que las probetas con aditivo acelerante mostraron una resistencia promedio de 39.29 % superior en general comparado con la probeta de control, se identificó un comportamiento inesperado: la probeta con 1.40 L de acelerante por peso de cemento, mostró una resistencia inferior a dosis más bajas (1.00 L y 2.00 L). Además, a los 14 días, mientras que la dosis de 1.60 L de acelerante mostró un incremento en la resistencia en comparación con las dosis de 1.00 L a 1.40 L, las dosis más altas de 1.80 L y 2.00 L volvieron a disminuir la resistencia en comparación con la dosis de 1.60 L. Esto sugiere que dosis más altas de acelerante no necesariamente optimizan la resistencia del concreto en edades más avanzadas, e incluso pueden ser contraproducentes.

Estos hallazgos resaltan la importancia de una dosificación precisa del aditivo acelerante para optimizar la resistencia del concreto en diferentes etapas de fraguado.

El aditivo acelerante cumplió con el objetivo

El aditivo acelerante si cumplió con el objetivo de cuantificar su impacto en la resistencia a la compresión a diferentes edades de curado.

El texto presenta un análisis de cómo el aditivo acelerante afecta la resistencia del concreto en distintas etapas del curado, incluyendo, el impacto de la dosificación, donde se intentó establecer una correlación entre la cantidad de acelerante y la resistencia, observando comportamientos inesperados donde dosis más altas no siempre resultaron en mayor resistencia.

Aunque los resultados son variados y algunos casos contradictorios (como el aumento general del 39.29 % a los 3 días, contra la disminución del 27.80 % a los 14 días en diferentes secciones), la información proporcionada cuantifica el impacto del aditivo en diferentes edades de curado y con distintas dosificaciones, lo que indica que el objeto de la investigación fue abordado.

Implicaciones prácticas de los hallazgos en la construcción

Los resultados de este estudio ofrecen varias implicaciones prácticas cruciales para el uso de aditivos acelerantes en proyectos de construcción. Comprender estos efectos es vital para optimizar el rendimiento del concreto y la eficiencia de los proyectos.

El impacto que genera la resistencia temprana del concreto a edades intermedias (3 y 7 días) gracias al aditivo acelerante, es una ventaja significativa.

- Un incremento en la resistencia del 16% a los 3 días y del 7% a los 7 días, comparado con el concreto sin aditivos, sugiere que el uso de este acelerante puede permitir desencofrados y el inicio de cargas más tempranos en las estructuras. Permite una aceleración de los cronogramas de obra, reduciendo los tiempos de espera y potencialmente los costos asociados a la duración del proyecto. Es particularmente útil en climas fríos donde el fraguado se ralentiza.

Dosificación del acelerante: Más no siempre es mejor

Uno de los descubrimientos más importantes es la relación no lineal y compleja entre la cantidad de acelerante y la resistencia final del concreto.

- A pesar de que se observó un incremento promedio del 39.29% en la resistencia general con el aditivo en comparación con el control, se encontró un comportamiento inesperado a una dosificación de 1.40 L de acelerante por peso de cemento, resultó en una resistencia inferior a la obtenida con 1.00 L y 1.20 L.
- Además, los resultados a los 14 días demostraron que ninguna probeta con acelerante superó al control y en promedio, presentó un decremento del 27.80% en la resistencia. Esto indica claramente que existe una dosificación óptima para el acelerante y superarla no solo no mejora la resistencia, sino que puede llegar a comprometerla a edades más avanzadas.
- Para los profesionales de la construcción, esto subraya la necesidad de realizar pruebas de laboratorio exhaustivas para determinar la dosificación ideal del acelerante para cada tipo específico de cemento y condiciones de obra. Una dosificación incorrecta podría generar problemas de durabilidad a largo plazo en las estructuras.

Consideraciones para la durabilidad a largo plazo

El efecto negativo del aditivo acelerante en la resistencia a los 14 días es una advertencia crítica.

- Si bien los acelerantes son valiosos para la ganancia de resistencia temprana, este estudio sugiere que su uso indiscriminado o en dosis subóptimas podría afectar negativamente la resistencia final del concreto. Esto tiene implicaciones directas en la durabilidad y vida útil de las estructuras.
- Es fundamental que los ingenieros y constructores no dependan exclusivamente de la resistencia temprana cuando utilicen acelerantes. Se debe asegurar que las mezclas diseñadas con estos aditivos cumplan con los requisitos de resistencia a largo plazo para garantizar la seguridad y el rendimiento estructural.

En conclusión, mientras que los aditivos acelerantes son herramientas valiosas para optimizar la construcción al permitir ganancias rápidas de resistencia, su aplicación debe ser cuidadosamente controlada y basada en estudios de dosificación específicos para cada proyecto, evitando así comprometer la resistencia y durabilidad a largo plazo del concreto.

Futura línea de investigación

Los resultados de este estudio, abren diversas vías para futuras investigaciones que permitan una compresión más profunda del comportamiento del aditivo acelerante en el concreto.

Considerando el comportamiento inesperado de la resistencia a los 14 días y la disminución observada con dosificaciones más altas de acelerante, las siguientes líneas de investigación podría ser valiosa:

- Optimización de la dosificación del acelerante: Es crucial investigar un rango más amplio de dosificaciones del aditivo acelerante, con incrementos más finos, para identificar la dosis óptima que maximice la resistencia a la compresión sin comprometerla a largo plazo. Esto podría incluir dosis por debajo de 1.00 L y explorar con mayor detalle el punto de inflexión alrededor de 1.60 L.
- Evaluación a largo plazo de la resistencia: Ampliar el periodo de seguimiento de la resistencia a la compresión más allá de los 28 días. Esto permitiría comprender el impacto a largo plazo del acelerante en la durabilidad y el rendimiento estructural del concreto.
- Impacto del tipo de cemento y aditivos combinados: Investigar como el tipo de cemento (por ejemplo, cemento con adiciones minerales) interactúa con el aditivo acelerante. Adicionalmente, evaluar el efecto de combinar este acelerante con otros aditivos (por ejemplo, reductores de agua, inclusores de aire) para entender sinergias o antagonismos en las propiedades del concreto.

Bibliografía/Referencias

- Ampuero Zapana, A. A. & Gonzales Calle, G. P. (2024). Aditivos en las propiedades del concreto de alta resistencia para pilotes en el Terminal Portuario de Ilo, Moquegua, 2022. Tesis para obtener el grado de ingeniero civil. Universidad Continental.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/16222/3/IV_FIN_105_TE_Ampuero_Gonzales_2024.pdf
- Becerra, E. (2021). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto con aditivo acelerante y retardante en la ciudad de Trujillo – 2021*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<http://hdl.handle.net/11537/29191>
- Castellón, H., & De la Ossa, K. (2013). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cemento tipo i y tipo iii, modificados con aditivos acelerantes y retardantes*. Recuperado el 05 de mayo de 2017.
<http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/537/1/TESIS%20DE%20GRADO.pdf>
- Gómez, V., Saldaña Núñez, Q., & Hilmer, J. (2021). Influencia de tres aditivos en el desarrollo de la resistencia a la compresión en un concreto $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y 210 kg/cm^2 . *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales E Ingeniería*, 2(3), 17-23. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.599>
- Huaraca Gamboa, J. L. (2021). Influencia de la aplicación del aditivo acelerante de resistencia temprana en las propiedades del concreto. Tesis para obtener el grado de ingeniero civil. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22232>
- Normatividad ASTM International C39/39M *Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*.
- Normatividad ASTM International C511 *Estándar especificación de los requisitos para cuartos de mezclados, armarios húmedos, humidificadores y tanques de almacenamiento de agua utilizados en pruebas de cementos hidráulicos y morteros*.
- Quiroz Cerna, B. A. (2021). *Influencia de los aditivos sika retarder y sikatard en la resistencia a la compresión, asentamiento y tiempo de fraguado de un concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$* , Trujillo 2021. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/29191>.
- Vera Salinas, L., Zavaleta Rubio, M., & Vásquez Diaz, A. (2021) Influence Of The Additive ASTM - C494 Type C On. The Compression Resistance At Early Ages Of a. Conventional Concrete FC 210 Kg/cm². *Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development*. 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.
https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_1268_a.pdf