

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“CONTROL DEL CALOR DE HIDRATACIÓN PARA
CONCRETO F’C 210 KG/CM2 CON ADITIVO
SUPERPLASTIFICANTE EN EDIFICACIONES
URBANAS- TRUJILLO 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Forma: Artículo científico

Autores:

Luisvar Erlin Barco Cordova

Jefferson Francisco Lopez Guzman

Asesor:

Mg. Ing. Fabrizio Del Carpio Delgado

<https://orcid.org/0000-0002-6334-7867>

Lima - Perú

2022

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JULIO CHRISTIAN QUESADA LLANTO
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	GERMAN SAGASTEGUI VASQUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	SONIA GEORGINA RUBIO HERRERA
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

CONTROL DEL CALOR DE HIDRATACIÓN PARA CONCRETO $f'c$ 210 KG/CM² CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EN EDIFICACIONES URBANAS- TRUJILLO 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

2 %

INDICE DE SIMILITUD

2 %

FUENTES DE INTERNET

0 %

PUBLICACIONES

0 %TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1ouci.dntb.gov.ua

Fuente de Internet

<1 %

2hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

3repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

4

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1 %

5

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

6docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

7repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

8repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

DEDICATORIA

Dedicamos a nuestros padres este trabajo de investigación, así como también a Dios que nos fortalece con inteligencia y perseverancia en cada una de las fases de nuestra vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Un grato agradecimiento al Mg. Ing. Fabrizio Del Carpio Delgado por el apoyo constante y el valor agregado que aportó a nuestra carrera profesional.

Tabla de Contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO III: RESULTADOS	15
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	20
REFERENCIAS	25

RESUMEN

El incremento de temperatura durante el periodo de fraguado del concreto es producto de la hidratación de la pasta de cemento, generando esfuerzos de tracción y compresión en el elemento estructural que más adelante se convertirían en fisuras que afectan el rendimiento y la durabilidad del hormigón e incluso poniendo en peligro la integridad de las estructuras en nuestro país. En tal sentido este trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la variación del calor de hidratación del concreto $f'c$ 210 kg/cm² para edificaciones urbanas, al añadir el aditivo superplastificante Viscocrete SC-50; para controlar el calor de hidratación del concreto $f'c$ 210 kg/cm². La investigación presentó un enfoque cuantitativo, diseño cuasiexperimental, ya que se manipuló al menos una variable de estudio; presentó una profundidad descriptiva con una muestra de 45 probetas que cumplieron con los criterios del reglamento ACI 318-19 (Cap. 26). Los resultados permitieron estimar que con adición de 1.00% de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50 la temperatura se mantiene constante en un periodo de 14 horas, luego incrementa de manera proporcional hasta las 23 horas, llegando a obtener el pico máximo de 32.5 °C en un rango de 32 a 36 horas, siendo la diferencia promedio entre la muestra patrón y la adición de 1.00% de Viscocrete a 28 días de edad 61 kg/cm² y el asentamiento con 1.00% de Viscocrete 8.50, 8.50 y 7.50 in en 0, 30 y 60 minutos respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Aditivo superplastificante, concreto convencional, calor de hidratación, resistencia a la compresión, trabajabilidad.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El concreto representa uno de los materiales más usados en el mundo por unidad de volumen, nos hace pensar desde un punto de vista estructural y económico en el material más idóneo en la construcción de rascacielos [1]. Según la American Society for Testing and Materials (ASTM) C125-14/ACI 116 R se consiste en un contorno aglomerante (Agua y cemento Pórtland), existiendo partículas o fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y grueso libre de metales pesados, sulfatos y cloruros [2].

El concreto no solo depende de los materiales comunes que conforman el medio aglomerante, sino del uso de aditivos para fortalecer sus propiedades, mecánicas como físicas [3]. El propósito de usar aditivos es para mejorar las propiedades del concreto fresco o fraguado, se relacionan con el asentamiento, reducción del agua, mayores resistencias a edades tempranas o reducción del peso específico [4].

Un aditivo superplastificante puede ser denominado como un reductor de agua de alto rango que se encuentra en la categoría “Tipo F” (NTP 334.088 y ASTM C 494M-19e1) que, al añadirlo a una mezcla de concreto, aumenta considerablemente la trabajabilidad y la resistencia característica a la compresión [4].

Los aditivos superplastificantes se utilizan comúnmente para mejorar las propiedades de hormigones y morteros, tanto en estado fresco como durante el endurecimiento [5].

Un aditivo de tipo superplastificante incrementa la trabajabilidad del concreto, generando una mezcla con una adecuada relación viscosidad/ fluidez [6]. La función de este aditivo es aumentar la fluidez de la mezcla, controlando el calor de hidratación del concreto [7].

El calor de hidratación puede ser definido como el resultado de la reacción química exotérmica entre el cemento y el agua [8]. Se trata de un parámetro importante en el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto [9].

Una alta temperatura del concreto es producto de la hidratación de una mayor cantidad de cemento, conduciendo a una mayor temperatura del hormigón y una mayor diferencia de temperatura entre la superficie media y la exterior [10].

Sobre el control del calor de hidratación del concreto, [10] afirman, “La hidratación de una mayor cantidad de cemento conduce a una mayor temperatura del hormigón y a una mayor diferencia de temperatura entre la superficie media y la exterior”. Según [11] el calor de hidratación del hormigón se puede controlar mediante el uso de una mezcla de hormigón de baja temperatura, el método de preenfriamiento y el método de enfriamiento por tubería. El método típico de enfriamiento de tuberías es apropiado para estructuras de concreto largas y anchas horizontalmente, pero no es adecuado para estructuras delgadas como muros macizos y pilares [12], además, ayuda a reducir la contracción por enfriamiento del concreto en masa [13].

La hidratación del cemento Portland es una reacción química exotérmica que produce calor durante las fases de hidratación, transfiriéndose desde el núcleo a las superficies y luego se disipa al medio ambiente [8]. El calor del hormigón es particularmente importante con respecto al hormigón en masa que se utiliza para presas y grandes cimientos en los que la temperatura máxima puede alcanzar incluso 50-70 °C [12].

Controlar y disminuir el calor de hidratación del hormigón en masa, nos ayuda a reducir las grietas y fisuras; aumentando la durabilidad y rendimiento estructural [12]. Se reconoce que las grietas pueden debilitar el rendimiento y la durabilidad del hormigón e incluso poner en peligro la integridad de la estructura que está sometida a vibraciones ambientales y a los efectos del proceso constructivo, mano de obra no calificada, la densidad de los muros, y los materiales [14],[15].

El incremento de temperatura durante el periodo de fraguado del concreto es producto de la hidratación de la pasta de cemento [12], generando esfuerzos de tracción y compresión en el elemento estructural que más adelante se convertirían en fisuras [8]. Según [7] afirman que el tiempo de fraguado generalmente se describe como un proceso de percolación en la formación de productos de hidratación para conectar las partículas aisladas o débilmente unidas.

Según [13] hay tres tipos principales de deformación por contracción del hormigón después del fraguado inicial: el primero es la contracción por secado, que es producida por la evaporación del exceso de agua dentro del hormigón hacia el exterior, y la deformación por contracción en seco del hormigón; la segunda es la contracción autógena del hormigón, que es originada por la reacción de hidratación de los materiales cementosos que consumen parte de agua, y cuanto menor es la proporción de ligante de agua, mayor es la contracción autógena; el tercero es la contracción por enfriamiento como consecuencia de la reacción de hidratación del material adhesivo.

Del análisis anterior, una alternativa para reducir el calor de hidratación es la adición de material puzolánico y aditivos químicos (retardantes y superplastificantes) en la mezcla de concreto [16].

No existe una herramienta específica para determinar la cantidad óptima de aditivo superplastificante (SPA) para una mezcla de concreto. La carencia de SPA en el hormigón sin suficiente fluidez puede generar serios problemas de durabilidad en las estructuras; mientras que una baja fluidez, puede causar una alta porosidad y permeabilidad con la correspondiente pérdida de durabilidad, requiriendo un mayor consumo energético para su correcto vibrado, si es necesario. Una cantidad excesiva de SPA supondrá un aumento del coste sin mejorar las propiedades del hormigón, dejando de ser eficiente por encima del punto de saturación determinado por el ensayo del cono de Marsh [6].

Los aditivos superplastificantes se han convertido en un insumo indispensable en el proceso de preparación del hormigón, logrando retrasar el tiempo de fraguado y aumentando la resistencia final de la mezcla con una reducción de agua hasta un 40% [17].

Estudios realizados por [18], utilizó un sulfonato de polinaftaleno como superplastificante. El aglutinante es una mezcla de 33,3 % de cemento Portland ordinario y 66,7 % de cenizas volantes. Los especímenes de relleno de pasta cementada (CPB) con una relación relaves-aglomerante de 3:1 y una concentración de sólidos del 70 %. Los resultados mostraron que el sulfonato de polinaftaleno tiene una fuerte influencia en la hidratación de corta duración, lo que puede

contribuir al aumento de la fuerza de CPB, además, se demostró que el sulfonato de polinaftaleno mejoró la fluidez de la mezcla de CPB, fortaleciendo las resistencias de las muestras a edades de 7, 14 y 28 días.

Estudios realizados por [4], evaluaron la resistencia de probetas de concreto a edades mayores que 28 días, mediante una comparación de mezcla patrón sin el aditivo y otras mezclas dosificadas con el aditivo superplastificante PSP NLS de acuerdo al fabricante con 1,7 % del peso del cemento y con un exceso al 2,1 %; llegando a comprobar que con la adición del aditivo PSP NLS, no se producen reducciones de las resistencias, pero si se retarda el proceso de fraguado de las mezclas.

Estudios realizados por [19] analizó la actuación del concreto al combinar cemento Portland Tipo I con aditivo SIKA ViscoCrete 3330. Los agregados que se utilizaron fueron de canteras limeñas, siendo las relaciones agua/cemento: 0.40, 0.45 y 0.50. El aditivo mencionado, se utilizó de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante. Las dosificaciones fueron: 0.5 %, 1% y 2 % respecto al peso del cemento, llegando a determinar que el porcentaje de 0.45 generó mayor resistencia.

Estudios realizados por [20], se determinó que el tiempo de fraguado de los concretos patrones estuvo comprendido entre 6 y 7 horas y el fraguado final entre 8 y 10 horas. El tiempo de fragua inicial para hormigones con Sika ViscoCrete 20HE, osciló entre 8.2 a 9.2 horas y su fragua final entre los 10.3 a 11 horas, como efecto de mayor cantidad de calor de hidratación en la mezcla patrón. Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión en los concretos patrones fueron la mínima 221 kg/cm² y la máxima 350 kg/cm²; y los concretos con adición del aditivo Sika ViscoCrete 20HE las resistencias incrementaron, siendo la mínima 417 kg/cm² y la máxima 609 kg/cm².

Estudios realizados por [21], usaron los parámetros de las NTP 339.082 y 339.034 para la clasificación de agregados, el diseño de mezcla, resistencia a la compresión y ensayo utilizando penetrómetro. Se usó cemento GU mochica, agregado fino, agregado de tamaño máximo nominal igual 3/8", siendo la relación agua/cemento 0.40 y 0.45. La dosificación del aditivo se agregó de acuerdo con el

peso del cemento, siendo las proporciones 0.7%, 0.8%, 0.9% y 1.0%. Se realizaron 400 probetas de 4" de diámetro y 8" de altura para las pruebas de resistencia a la compresión, siendo las edades de los ensayos 1, 3, 7 y 28 días. Los resultados que se obtuvo en el día 3 con 0.7%, 0.8%, 0.9%, 1.0% de aditivo, presentaron resistencias a la compresión satisfactorias, valores que exhortan a continuar con el proceso constructivo, llegando a determinar que el concreto incrementó en 82.04% la resistencia a la compresión respecto a la dosificación patrón.

El presente trabajo tuvo como propósito estudiar el calor de hidratación del concreto, para abordar las incógnitas generadas en el campo de temperatura, garantizando el curado de la muestra a temperatura ambiente; y así reducir el riesgo de fisuración y agrietamiento potencial del hormigón [22]. En concreto liviano, se examina con la ayuda de un calorímetro de taza de café para averiguar la hidratación del concreto y el tiempo de fraguado [9]. Sin embargo, para concreto pesado se hizo uso de termocuplas.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación es cuantitativo, porque prioriza el cumplimiento del objetivo mediante el uso de la estadística y la medición de fenómenos para comprobar la hipótesis planteada.

Ref. [23] plantean que, en una investigación cuasiexperimental se operan libremente, como mínimo, una variable independiente para verificar su efecto sobre las variables dependientes, sólo que discrepan de un experimento “puro” en el nivel de certeza que pueda tenerse sobre el grado de equivalencia inicial de los grupos.

Por ello, la investigación es de tipo cuasiexperimental, puesto que, se manipulará al menos una variable de estudio. La pregunta de investigación establecida para conducir el proceso metodológico fue: ¿En cuánto se logra controlar el calor de hidratación del concreto $f'c$ 210 kg/cm² para edificaciones urbanas, al agregar aditivo superplastificante ViscoCrete SC-50, Trujillo 2022?

La investigación presentó un nivel descriptivo, puesto que, se analizará la variable independiente aditivo superplastificante. Ref. [23] menciona que los estudios descriptivos buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice, además, describen tendencias de un grupo o población.

La población de estudio está conformada por todos los concretos $f'c =210$ kg/cm² preparados con aditivo ViscoCrete SC-50 bajo la metodología ACI 318-19 en la ciudad de Trujillo - 2022.

La muestra consecutiva está constituida por 45 probetas que cumplen con los criterios del código ACI 318-19 (cap. 26), refiriendo que para una probeta de 4” x 8” se elaborará como un mínimo de 3 unidades para cada edad, siendo la distribución de la siguiente manera:

TABLA I
CANTIDAD DE MUESTRAS DE CONCRETO (PROBETAS) DEL ADITIVO VISCOCRETE SC-50

Edades/ Muestras	03 días	07 días	28 días	Total
Patrón	3	3	3	9
0.25% (Viscocrete SC-50)	3	3	3	9
0.50% (Viscocrete SC-50)	3	3	3	9
0.75% (Viscocrete SC-50)	3	3	3	9
1.00% (Viscocrete SC-50)	3	3	3	9
Total	15	15	15	45

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se presentan los principales resultados de esta investigación en cuatro apartados.

A. Resultados de las propiedades físicas de los agregados

En la tabla 2, se muestra los resultados promedio de las propiedades físicas de los agregados. Para agregado fino y grueso, el contenido de humedad se determinó siguiendo los criterios de la NTP339.185, el análisis granulométrico por tamizado bajo la NTP 400.012, peso específico y absorción bajo la NTP 400.022, peso unitario suelto y compactado bajo la NTP 400.017.

TABLA II
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS PARA LAS MUESTRAS DE LA CANTERA EL MILAGRO TRUJILLO

Propiedad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Contenido de humedad (gr)	1	0.5
Módulo de finura	2.76	6.53
Peso específico base seca (gr/cm ³)	2.46	2.46
Absorción (%)	2.2	2
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1690	1359
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1899	1562
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Peso específico base SSS (gr/cm ³)	-	2.51

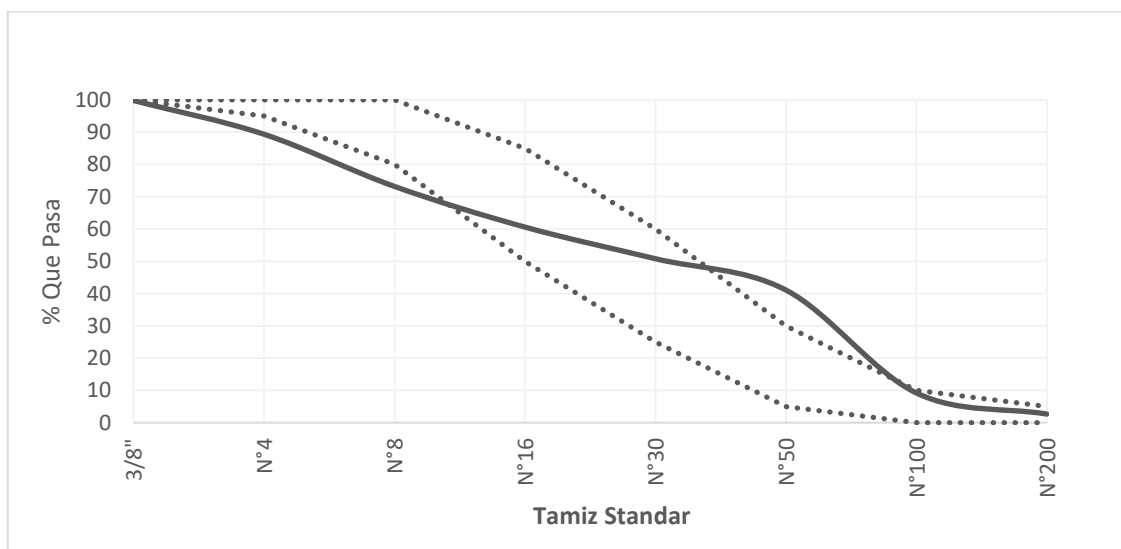


Fig. 1 Curva granulométrica de agregado fino (NTP 400.012) para la muestra de la cantera El Milagro- Trujillo

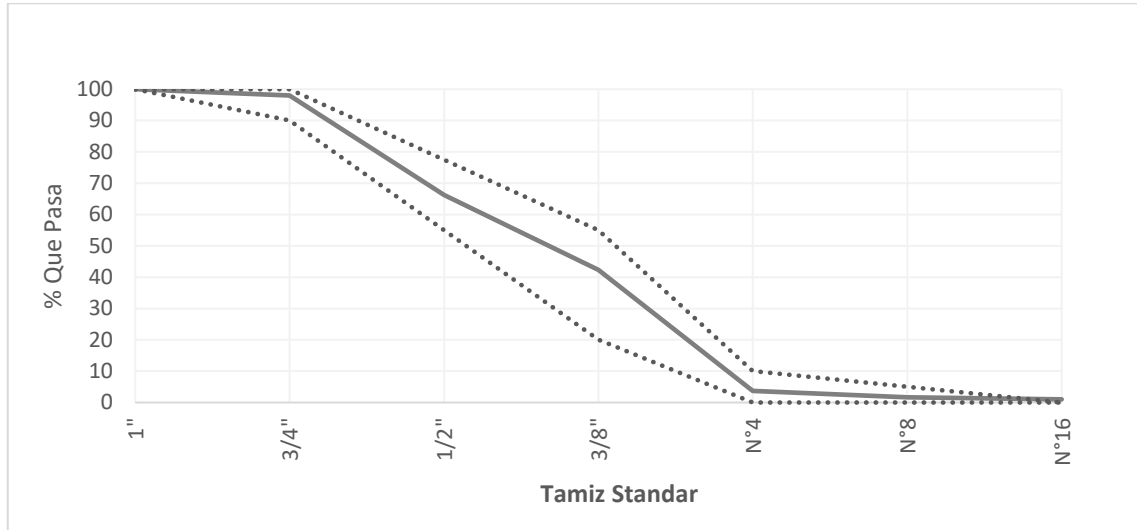


Fig. 2 Curva granulométrica de agregado grueso (NTP 400.012) para la muestra de la cantera el Milagro- Trujillo

B. Resultados de la resistencia a la compresión

En la figura 3, se muestra los resultados de la resistencia a la compresión (ASTM C39/C39M-NTP 339.034) para las muestras cilíndricas de concreto a edades de 3, 7 y 28 días. Los resultados muestran que conforme aumenta el porcentaje de aditivo, la resistencia a la compresión incrementa de manera significativa, obteniéndose la mejor resistencia con 1.00% igual a 363 kg/cm^2 en 28 días.

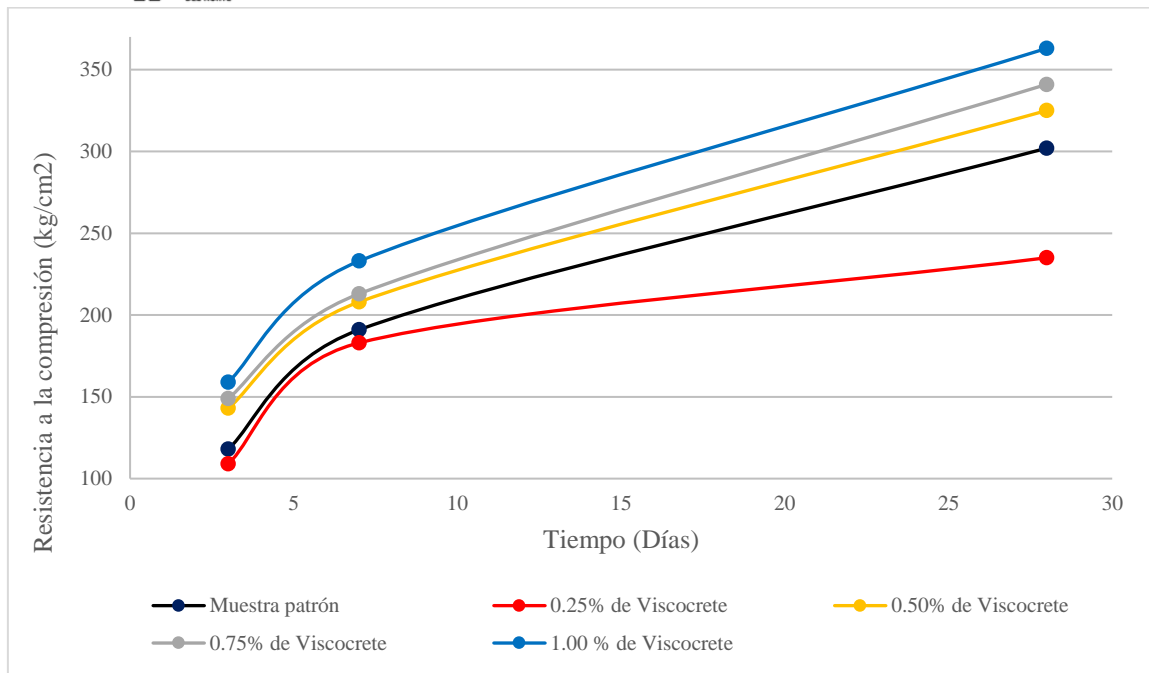


Fig. 3 Resultados de la resistencia a la compresión (ASTM C39/C39M-NTP 339.034)

C. Resultados de asentamiento tanto para concreto de muestra patrón como para las muestras con adición de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50

En la figura 4, se muestra los resultados de asentamiento del concreto (ASTM C143) tanto para la muestra patrón como para las muestras con adición de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50. La gráfica nos muestra que con 1.00% de aditivo superplastificante la trabajabilidad tiende a mantenerse constante en un periodo de treinta minutos, mientras que en la muestra patrón la trabajabilidad presenta una pendiente, indicando que el asentamiento disminuye de manera acelerada conforme transcurre el tiempo.

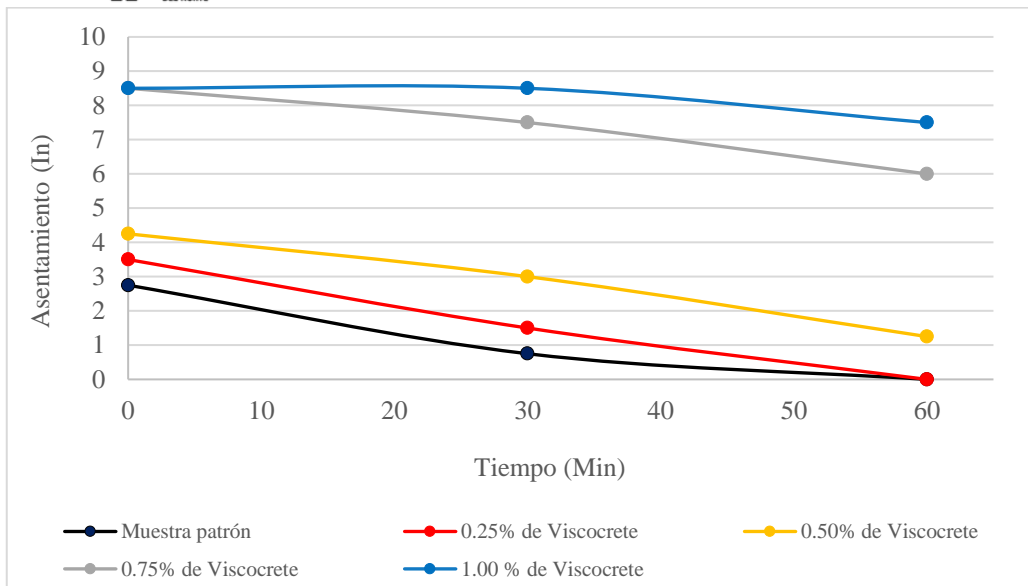


Fig.4 Resultados de asentamiento (ASTM C 143)

D. Resultados del análisis térmico tanto para concreto de muestra patrón como para muestras con adición de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50

Los resultados obtenidos del análisis térmico muestran que con adición de 1.00% de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50 se obtuvo la mayor resistencia de compresión en tres días igual a 159 kg/cm^2 , siendo el pico máximo de temperatura aproximadamente a $32.25 \text{ }^\circ\text{C}$ en 32.10 horas. La mezcla de concreto con el aditivo superplastificante reacciona de manera fluida, dando origen a la formación de mayor cantidad de cristales en la estructura de las probetas que, posteriormente se refleja en el incremento de la resistencia a la compresión.

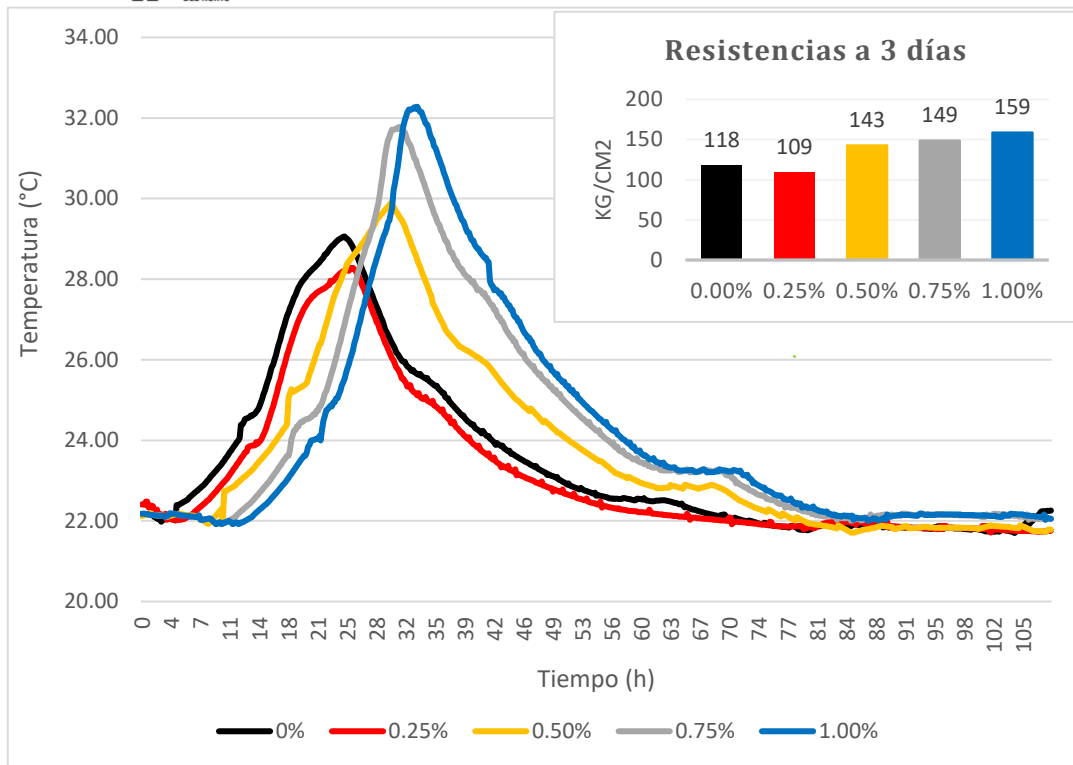


Fig.5 Práctica estándar para evaluar la hidratación temprana de mezclas cementosas hidráulicas mediante mediciones térmicas (ASTM C1753-15)



Fig.6 Instrumento para mediciones térmicas durante la hidratación temprana de mezclas hidráulicas cementosas (ASTM C1753-15)

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para [12] controlar y disminuir el calor de hidratación del hormigón en masa, nos ayuda a reducir las grietas y fisuras; aumentando la durabilidad y rendimiento estructural. Se reconoce que las grietas pueden debilitar el rendimiento y la durabilidad del hormigón e incluso poner en peligro la integridad de la estructura convirtiéndola en vulnerable ante los efectos sísmicos [14],[24]y[25] .

A partir de los resultados obtenidos en la figura 5 de análisis térmico, se puede afirmar que con adición de 1.00% de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50 la temperatura se mantiene constante en periodo de 14 horas, luego incrementa de manera proporcional hasta las 23 horas, llegando a obtener el pico máximo de 32.5 °C en un rango de 32 a 36 horas. El incremento de temperatura durante el periodo de fraguado del concreto es producto de la hidratación de la pasta de cemento [12], generando esfuerzos de tracción y compresión en el elemento estructural que más adelante se convertirían en fisuras [8]. Según Ref. [7] afirman que el tiempo de fraguado generalmente se describe como un proceso de percolación en la formación de productos de hidratación para conectar las partículas aisladas o débilmente unidas. Para [13] después del fraguado inicial, hay tres tipos principales de deformación por contracción del hormigón: el primero es la contracción por secado, que es producida por la evaporación del exceso de agua dentro del hormigón hacia el exterior, y la deformación por contracción en seco del hormigón; la segunda es la contracción autógena del hormigón, que es originada por la reacción de hidratación de los materiales cementosos que consumen parte de agua, y cuanto menor es la proporción de ligante de agua, mayor es la contracción autógena; el tercero es la contracción por enfriamiento como consecuencia de la reacción de hidratación del material adhesivo.

Una de las alternativas para reducir el calor de hidratación del concreto a edades tempranas, es el uso de las cenizas volantes (FA) [14] que ayudan a prevenir o minimizar la evolución de grietas [12], logrando una trabajabilidad y

resistencia a la compresión y adherencia satisfactorias del hormigón [26], además, requieren una menor cantidad de superplastificante (SP) para obtener una mezcla de concreto viable [27].

Según [11] otra forma de controlar el calor de hidratación del hormigón, es mediante el uso de una mezcla de concreto de baja temperatura, el método de preenfriamiento y el método de enfriamiento por tubería, siendo este último el más apropiado para estructuras de concreto largas y anchas horizontalmente, pero no es adecuado para estructuras delgadas como muros macizos y pilares [12], además, ayuda a reducir la contracción por enfriamiento del concreto en masa [13].

Un factor importante para predecir la tensión de temperatura y el gradiente de la estructura de hormigón durante el vaciado de concreto, es el viento atmosférico [28], la incorporación de aire, trabajabilidad, capacidad impermeable e inmutabilidad [29]. Además del viento atmosférico y las propiedades tecnológicas, la estación de invierno juega un rol importante en el fraguado de la mezcla de concreto, por lo que es necesario usar un aditivo nanomodificado para evitar el riesgo de segregación de la mezcla [30].

Del análisis anterior, una alternativa para reducir el calor de hidratación es la adición de material puzolánico y aditivos químicos (retardantes y superplastificantes) en la mezcla de concreto [16].

Los aditivos superplastificantes se han convertido en un insumo indispensable en el proceso de preparación del hormigón, logrando retrasar el tiempo de fraguado y aumentando la resistencia final de la mezcla con una reducción de agua hasta un 40% [17]. En la figura 3 se analizó la resistencia a la compresión (ASTM C39/C39M-NTP 339.034) a medida que incrementa el porcentaje de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50, siendo la diferencia promedio entre la muestra patrón y la adición de 1.00% de Viscocrete a 28 días de edad 61 kg/cm², asimismo, en la figura 4 la trabajabilidad incrementa en 6.25 in a 60 minutos.

Uno de los aditivos superplastificantes más demandados, es el tipo policarboxilato (PCE) que está compuesto de aditivos comunes como el silicato tricálcico (C3S) y silicato dicálcico (C2S) [31]. El PCE es utilizado para retrasar el tiempo de fraguado, disminuir la resistencia en la hidratación temprana y aumentar la resistencia en un período posterior [17], además, incrementa la viscosidad plástica y el límite elástico de la pasta de cemento [32].

Otro de los aditivos más utilizados por las empresas de concreto premezclado, es el aditivo superplastificante PSP NLS de resinas de naftaleno y libre de cloruros, que tiene como propósito aumentar la trabajabilidad y la resistencia del concreto a edades tempranas, reduciendo el agua de mezclado [4].

Los aditivos superplastificantes más utilizados en función al control del calor de hidratación son los del tipo Éter, tanto Policarboxílico como Policarboxilato (PCE), asimismo, los Sulfonatos de Polinaftaleno y compuesto a base de resinas de Naftaleno Formaldehído (SNF), y finalmente los superplastificantes ASTM C-494 tipo A&F y reductores de agua de alto rango. Estos ayudan a controlar el calor de hidratación de la mezcla de concreto, reducir la cantidad de cemento por metro cúbico, así como, agilizar el proceso constructivo en obra.

Identificadas las ventajas de los aditivos superplastificantes, es posible idear formas de cambiar la percepción negativa frente a un tema específico, a través de ajustes provenientes de un análisis técnico sobre la información recolectada gracias al sistema de retroalimentación propuesto [17].

Para [33] es posible producir hormigón de alto rendimiento (UHPC) con una resistencia a la compresión de 150 MPa, mediante un reemplazo del 30 % de cenizas volantes (FA) o del 50 % de escoria de alto horno granulada molida (GGBFS). Sin embargo, obtener una mejor resistencia del concreto autocompactante (SCC), implica fijar la relación agua-conglomerante, cambiar la dosis de superplastificante (SP) e incorporar tanto alcofino como humo de sílice al 10% [34].

Los resultados de la tabla II muestran que las propiedades físicas reflejadas en las figuras 1 y 2 de los agregados gruesos y finos son satisfactorias, bajo los criterios de la normativa peruana (NTP 339.185, NTP 400.012, NTP 400.022, NTP 400.017). Las propiedades del concreto dependen de la calidad y propiedades de los agregados, la relación a/c, la uniformidad de compresión de la mezcla [35], siendo el tamaño, cantidad y distribución de partículas un factor clave para obtener una resistencia a la compresión considerablemente alta usando cantidades más bajas tanto de nanosílice (nSi) como de microsílice (mSi) y, por lo tanto, de aditivo superplastificante (SP) [36].

Ref. [10] afirma que, a mayor cantidad de cemento se produce una mayor temperatura del hormigón y una mayor diferencia de calor entre la superficie media y la exterior. En consecuencia, la tensión de tracción debida al gradiente térmico se desarrollará más, lo que aumentará el potencial de fisuración. De esta forma, es posible entender que el calor de hidratación aumenta de manera proporcional a la cantidad de cemento.

Ref. [6], concluye que, el hormigón autocompactante modifica su trabajabilidad con pequeñas cantidades de aditivo superplastificante, requiriendo de una gran cantidad de pruebas para su monitoreo. Concluye que, para determinar la cantidad adecuada de aditivo para una sola mezcla, fue necesario analizar la evolución del consumo eléctrico de una hormigonera durante la adición de pequeñas cantidades de aditivo al hormigón. Los resultados fueron comparados, tanto con la caracterización de la trabajabilidad típica del hormigón autocompactante como con los resultados del punto de saturación determinados por el método del cono de Marsh. Finalmente, se obtuvo una buena correlación entre los resultados de las pruebas tradicionales y el "Método de la Hormigonera" propuesto.

No existe una herramienta específica para determinar la cantidad óptima de aditivo superplastificante (SPA) para una mezcla de concreto. La carencia de SPA en el hormigón implica una insuficiente fluidez, alta porosidad y permeabilidad en la mezcla, originando serios problemas de durabilidad en las estructuras; así como, mayor consumo energético para su correcto vibrado, si

es necesario. Una cantidad excesiva de SPA supondrá un aumento del coste sin mejorar las propiedades del hormigón, dejando de ser eficiente por encima del punto de saturación determinado por el ensayo del cono de Marsh [6].

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos del análisis térmico, se puede afirmar que con adición de 1.00% de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50 se obtuvo la mejor resistencia de compresión en tres días igual 159 kg/cm², siendo el pico máximo de temperatura aproximadamente a 32.25 °C en 32.10 horas. Esto como consecuencia de la reacción de la mezcla de concreto con el aditivo superplastificante, dando origen a la formación de mayor cantidad de cristales en la estructura de las probetas.

Se analizó la resistencia a la compresión a medida que incrementa el porcentaje de aditivo superplastificante Viscocrete SC-50, siendo la diferencia promedio entre la muestra patrón y la adición de 1.00% de Viscocrete a 28 días de edad 61 kg/cm².

Los resultados obtenidos muestran que el aditivo superplastificante contribuye a mantener la trabajabilidad del concreto, siendo la dosis óptima del aditivo superplastificante Viscocrete SC-50 en la consistencia del concreto fluido 1.00% de Viscocrete 8.50, 8.50 y 7.50 in en 0, 30 y 60 minutos respectivamente. Esto como efecto del aditivo superplastificante que basa su accionar en una combinación de efectos eléctricos, de absorción y de repulsión estérica; contribuyendo a un alto nivel de fluidificación y dispersión de las partículas sólidas con menor contenido de agua.

REFERENCIAS

- [1] J. Z. Schiavon, P. M. Borges, S. R. da Silva, y J. J. de O. Andrade, «Analysis of mechanical and microstructural properties of high performance concretes containing nanosilica and silica fume», *Matér. Rio Jan.*, vol. 26, n.º 4, p. e13104, 2021, doi: 10.1590/s1517-707620210004.1304.
- [2] J. I. Naveros, R. M. Vasquez, y Y. D. Lima, «Contaminación por metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) en sedimentos superficiales del estuario Boca del Río, Ilo, Moquegua, Perú 2021», *Sincretismo*, vol. 2, n.º 1, Art. n.º 1, jul. 2021, Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/26>
- [3] N. K. Sangay Quiliche, «Influencia del aditivo eucon 1037 en la resistencia a la compresión de un concreto de $f'c= 350$ kg/cm² - Cajamarca», *Univ. Nac. Cajamarca*, 2017, Accedido: 18 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1006>
- [4] F. Soto, A. Fernández, y J. Morales, «Evaluación del comportamiento de la resistencia a compresión del concreto con la aplicación del aditivo superplastificante PSP NLS, para edades mayores que 28 días.», *Rev. Ing. UC*, vol. 23, n.º 2, pp. 197-203, 2016.
- [5] F. do C. Holanda, H. Schmidt, y V. A. Quarcioni, «Influence of phosphorus from phosphogypsum on the initial hydration of Portland cement in the presence of superplasticizers», *Cem. Concr. Compos.*, vol. 83, pp. 384-393, oct. 2017, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.07.029.
- [6] J. a. Sainz-Aja *et al.*, «Determination of the optimum amount of superplasticizer additive for self-compacting concrete», *Appl. Sci. Switz.*, vol. 10, n.º 9, 01 2020, doi: 10.3390/app10093096.
- [7] P. P. Li, Q. L. Yu, y H. J. H. Brouwers, «Effect of PCE-type superplasticizer on early-age behaviour of ultra-high performance concrete (UHPC)», *Constr. Build. Mater.*, vol. 153, pp. 740-750, oct. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.145.
- [8] P. R. de Matos, R. Junckes, E. Graeff, y L. R. Prudêncio Jr, «Effectiveness of fly ash in reducing the hydration heat release of mass concrete», *J. Build. Eng.*, vol. 28, p. 101063, mar. 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2019.101063.
- [9] S. Vandanapu y K. Muthumani, «Heat of Hydration and Alkali- Silicate Reaction in Oil Palm Shell Structural Lightweight Concrete», *Silicon*, vol. 12, n.º 5, pp. 1043-1049, may 2020, doi: 10.1007/s12633-019-00202-9.
- [10] T. A. Do, T. T. Hoang, T. Bui-Tien, H. V. Hoang, T. D. Do, y P. A. Nguyen, «Evaluation of heat of hydration, temperature evolution and thermal cracking risk in high-strength concrete at early ages», *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 21, p. 100658, oct. 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100658.
- [11] T.-S. Seo, S.-S. Kim, y C.-K. Lim, «Experimental Study on Hydration Heat Control of Mass Concrete by Vertical Pipe Cooling Method», *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 14, n.º 3, pp. 657-662, sep. 2015, doi: 10.3130/jaabe.14.657.

- [12] L. Wang, H. Q. Yang, S. H. Zhou, E. Chen, y S. W. Tang, «Mechanical properties, long-term hydration heat, shrinkage behavior and crack resistance of dam concrete designed with low heat Portland (LHP) cement and fly ash», *Constr. Build. Mater.*, vol. 187, pp. 1073-1091, oct. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.056.
- [13] X. Wang, M. Shi, X. Wang, X. Wang, M. Shi, y X. Wang, «Application of hydration heat inhibitor in crack control of mass concrete of tunnel side wall», *E3S Web Conf.*, vol. 283, n.º 1, ene. 2021.
- [14] L. Wang, F. Guo, Y. Lin, H. Yang, y S. W. Tang, «Comparison between the effects of phosphorous slag and fly ash on the C-S-H structure, long-term hydration heat and volume deformation of cement-based materials», *Constr. Build. Mater.*, vol. 250, p. 118807, jul. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118807.
- [15] A. Vargas-Luque, F. D. Carpio-Delgado, C. Villa-Alagón, R. Medina-Cacéres, y N. Vargas-Luque, «Aplicación de la vibración ambiental y la vulnerabilidad física de la ciudad de Moquegua», *Sincretismo*, vol. 1, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2020, Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/24>
- [16] M. Ismail, A. Noruzman, M. Bhutta, T. Yusuf, y I. Ogiri, «Effect of vinyl acetate effluent in reducing heat of hydration of concrete», *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 20, n.º 1, pp. 145-151, ene. 2016.
- [17] H. Tian, X. Kong, Y. Cui, Q. Wang, y D. Wang, «Effects of polycarboxylate superplasticizers on fluidity and early hydration in sulfoaluminate cement system», *Constr. Build. Mater.*, vol. 228, p. 116711, dic. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116711.
- [18] Y. Zhang, Y. Zhang, G. Liu, Y. Yang, M. Wu, y B. Pang, «Fresh properties of a novel 3D printing concrete ink», *Constr. Build. Mater.*, vol. 174, pp. 263-271, jun. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.115.
- [19] V. A. Loayza Moreano, «Estudio de las propiedades del concreto y la variabilidad de su resistencia usando aditivo superplastificante y cemento portland tipo I». 2012. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14076/15538>
- [20] C. A. León Soto, «Concreto (hormigón) con cemento del tipo -I de resistencias tempranas con la tecnología Sika Viscocrete 20 HE», *Univ. Ricardo Palma*, 2011, Accedido: 6 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2158>
- [21] S. J. Cachay y M. R. Mogrovejo, «Influencia del aditivo Sika ViscoCrete- 40 HE con relación a/c menores a 0.50, en su tiempo de fraguado y resistencia a la compresión para una rápida puesta en servicio Trujillo 2019», p. 162, 2019, doi: <http://hdl.handle.net/11537/23399>.
- [22] L. Wang, F. Guo, Y. Lin, H. Yang, y S. W. Tang, «Comparison between the effects of phosphorous slag and fly ash on the C-S-H structure, long-term hydration heat and volume deformation of cement-based materials», *Constr. Build. Mater.*, vol. 250, p. 118807, jul. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118807.
- [23] R. Hernández, C. Fernández, y M. del P. Baptista, *Metodología de la investigación*, Sexta Edición. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES,

S.A, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- [24] F. Del Carpio Delgado y B. S. V. Barrios, «Scopus preview - Scopus - Document details - Management model with processes to identify seismic vulnerability in housing». Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85173757314&origin=inward&txGid=d49ed5ce56c28d172376fd26a5ddcf00>
- [25] F. Carpio y A. S. Chacon, «Scopus preview - Scopus - Document details - Analysis of the magnitude of the seismic waves energy transferred to the foundation of a building». Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85136702850&origin=inward&txGid=598355ec296cd284c9eab08ceb75b21b>
- [26] S. M. Laskar y S. Talukdar, «Preparation and tests for workability, compressive and bond strength of ultra-fine slag based geopolymer as concrete repairing agent», *Constr. Build. Mater.*, vol. 154, pp. 176-190, nov. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.187.
- [27] B. H. Nagaratnam, M. E. Rahman, A. K. Mirasa, M. A. Mannan, y S. O. Lame, «Workability and heat of hydration of self-compacting concrete incorporating agro-industrial waste», *J. Clean. Prod.*, vol. 112, n.º 1, pp. 882-894, ene. 2016.
- [28] M. Zhang, H. Xiao, M. Wang, M. M. Nadakatti, y P. Chen, «Temperature Effect of Concrete Hydration Heat under Atmospheric Wind Based on Fluid-Solid Coupling», *KSCE J. Civ. Eng.*, pp. 1-11, dic. 2021, doi: 10.1007/s12205-021-2271-3.
- [29] Y. Barabanschikov, S. Belyaeva, I. Arkhipov, M. Antonova, A. Shkol'nikova, y K. Lebedeva, «Influence of superplasticizers on the concrete mix properties», *Mag. Civ. Eng.*, vol. 74, n.º 6, pp. 140-146, 2017, doi: 10.18720/MCE.74.11.
- [30] A. P. Svintsov, E. L. Shchesnyak, V. V. Galishnikova, R. S. Fediuk, y N. A. Stashevskaya, «Effect of nano-modified additives on properties of concrete mixtures during winter season», *Constr. Build. Mater.*, vol. 237, p. 117527, mar. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117527.
- [31] M. Schönlein y J. Plank, «A TEM study on the very early crystallization of C-S-H in the presence of polycarboxylate superplasticizers: Transformation from initial C-S-H globules to nanofibers», *Cem. Concr. Res.*, vol. 106, pp. 33-39, abr. 2018, doi: 10.1016/j.cemconres.2018.01.017.
- [32] B. Ma *et al.*, «Effect of hydroxypropyl-methyl cellulose ether on rheology of cement paste plasticized by polycarboxylate superplasticizer», *Constr. Build. Mater.*, vol. 160, pp. 341-350, ene. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.010.
- [33] Ç. Yalçınkaya y H. Yazıcı, «Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures», *Constr. Build. Mater.*, vol. 144, pp. 252-259, jul. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.198.

- [34] A. Mohan y K. M. Mini, «Strength and durability studies of SCC incorporating silica fume and ultra fine GGBS», *Constr. Build. Mater.*, vol. 171, pp. 919-928, may 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.186.
- [35] D. Nagrockienė, G. Girskas, y G. Skripkiūnas, «Properties of concrete modified with mineral additives», *Constr. Build. Mater.*, vol. 135, pp. 37-42, mar. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.215.
- [36] J. Bernal, E. Reyes, J. Massana, N. León, y E. Sánchez, «Fresh and mechanical behavior of a self-compacting concrete with additions of nano-silica, silica fume and ternary mixtures», *Constr. Build. Mater.*, vol. 160, pp. 196-210, ene. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.048.