

Comparison of Self-Compacting Concrete and Traditional Concrete in San Pedro Sula, Honduras

Anthony Javier Baltodano Chavarría¹, Ada S. Rodríguez²

^{1, 2} Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, baltodanopsn@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec

Abstract– This research compares the performance of self-compacting concrete (SCC) against conventional concrete in Honduras, focusing on fresh and hardened properties. The study addresses the limitations of traditional concrete, which requires vibration, increases labor costs, and risks poor consolidation in reinforced elements. SCC mixtures were designed following EFNARC and ACI 237R-07 guidelines, using locally available materials. Three dosages were prepared: a 27.58 MPa control, a mix with 20% cement replacement by porcelain powder, and another with 20% replacement plus a 10% sand reduction, both including superplasticizer. In fresh state, slump flow results were 45 cm for the control, 51 cm for the 20% porcelain mix, and 59 cm for the 20% porcelain + 10% less sand, confirming improved flowability with higher fines content. In hardened state, compressive strength at 7 days ranged from 31.56 to 32.25 MPa, and at 14 days from 36.26 to 36.92 MPa, surpassing conventional requirements. Results indicate SCC with porcelain powder is technically viable, offering superior workability, competitive strength, and constructive advantages such as reduced vibration, faster placement, and better surface quality.

Keywords– Concrete, Self-Compacting, Compressive Strength.

Comparación del Concreto Autocompactable y el Concreto Tradicional en San Pedro Sula, Honduras

Anthony Javier Baltodano Chavarría¹, Ada S. Rodríguez²

^{1, 2} Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, baltodanopsn@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu

Resumen— Esta investigación compara el desempeño del concreto autocompactable (CAC) frente al concreto tradicional en Honduras, enfocándose en propiedades en estado fresco y endurecido. El estudio surge ante las limitaciones del concreto convencional, que requiere vibrado, aumenta los costos de mano de obra y presenta riesgos de consolidación deficiente en elementos con alta densidad de refuerzo. Se diseñaron mezclas de CAC bajo lineamientos EFNARC y ACI 237R-07, utilizando materiales locales. Se elaboraron cuatro dosificaciones: una mezcla control de 27.58 MPa, otra mezcla de concreto autocompactable tradicional, otra con 20% de reemplazo de cemento por porcelana en polvo y una tercera con 20% de reemplazo más reducción del 10% de arena, ambas con superplastificante. En estado fresco, los resultados de slump flow fueron 45 cm para el control, 57 cm para la mezcla CAC tradicional, 51 cm para el 20% porcelana y 59 cm para el 20% porcelana + 10% menos de arena, confirmando una mejor fluidez con mayor contenido de finos. En estado endurecido, la resistencia a compresión a 7 días osciló entre 31.56 y 32.25 MPa, y a los 14 días entre 36.26 y 36.92 MPa, superando las exigencias de normativas. Los resultados demuestran que el CAC con porcelana en polvo es viable técnicamente, ofreciendo mayor trabajabilidad, resistencias competitivas y beneficios constructivos como reducción del vibrado, rapidez en el vaciado y mejor calidad superficial.

Palabras clave—Concreto, Autocompactable, Resistencia, Compresión.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material más utilizado en la construcción, pero su colocación tradicional requiere procesos de vibrado que implican mayor tiempo, costo y riesgo de defectos internos. El concreto autocompactable (CAC), desarrollado en Japón en los años ochenta, surge como alternativa capaz de fluir por sí mismo y llenar moldes densamente armados sin necesidad de vibrado [1]. En Honduras, el CAC no se encuentra aún estandarizado, lo que motiva la presente investigación: comparar el CAC con el concreto tradicional en estado fresco y endurecido, empleando materiales locales y técnicas normativas internacionales.

El objetivo es comparar el desempeño del concreto autocompactable frente al concreto tradicional en Honduras, mediante la evaluación de propiedades en estado fresco y endurecido, utilizando porcelana en polvo como reemplazo parcial de cemento y materiales disponibles localmente.

1) Investigaciones previas

El concreto autocompactable (CAC), también conocido como self-compacting concrete (SCC), es un tipo de concreto altamente fluido que tiene la capacidad de llenado y compactación sin requerir vibración externa. Esta tecnología fue desarrollada en Japón a finales de la década de 1980 como respuesta a los problemas de durabilidad y consolidación en estructuras con alta densidad de refuerzo, buscando mejorar la resistencia y vida útil de las obras [2]. El CAC es considerado una evolución del concreto convencional que requiere de vibrado, ya que ofrece ventajas, como un mejor acabado superficial eliminando la necesidad de vibración, reducción de la contaminación acústica disminuyendo el riesgo para los trabajadores, menor requerimiento de mano de obra y menor tiempo de ejecución [3].

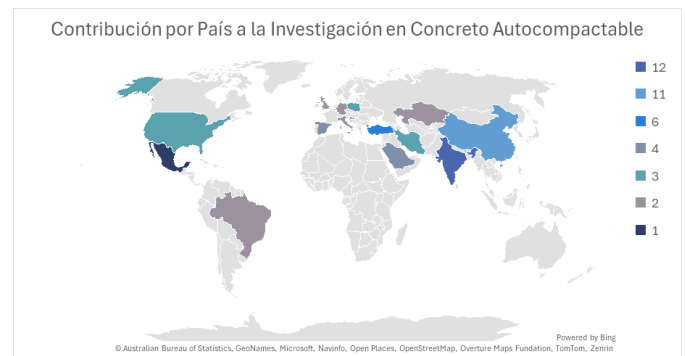


Fig. 1 Contribución por País a la Investigación en Concreto

2) **Propiedades mecánicas y reológicas:** El estudio del concreto autocompactable (CAC) en torno a sus propiedades mecánicas y reológicas se ha consolidado como la base de toda investigación en este tipo de mezcla y área, ya que dichas propiedades determinan tanto la viabilidad de la mezcla en estado fresco como su comportamiento estructural en estado endurecido. El carácter distintivo del CAC es su capacidad de fluir y compactarse sin necesidad de vibración, depende de un equilibrio delicado entre fluidez, viscosidad y estabilidad [4], mientras que su aceptación estructural está supeditada al cumplimiento de resistencia a compresión, durabilidad y respuesta a cargas comparables o superiores al concreto vibrado convencional [5].

3) **Materiales Reciclados y sostenibilidad:** La sostenibilidad en el concreto autocompactable (CAC) se

estudia actualmente desde dos enfoques principales. El primero busca disminuir el impacto ambiental a través del reemplazo parcialmente del cemento o los agregados por lo que son residuos y subproductos provenientes del sector industrial o agroindustrial. El segundo se centra en lo que es aprovechar materiales reciclados, como los son áridos reciclados (RCD), polvos minerales, cenizas de origen agrícola, arenas de fundición, escorias o caucho, dentro de mezclas que mantengan o incluso mejoren el desempeño del concreto. El mayor desafío técnico está en lograr un equilibrio entre la reducción de emisiones, las propiedades mecánicas, la durabilidad y la trabajabilidad, considerando que la principal ventaja de este tipo de mezcla (CAC) es que no requiere vibrado para su compactación [6].

4) *Uso de fibras y adiciones especiales:* La incorporación de fibras y adiciones especiales en el concreto autocompactable se estudia en lo que podría decirse enfoques complementarios. El primero busca incrementar desempeño mecánico, en particular la tenacidad, el control de fisuración y el comportamiento post pico sin sacrificar la capacidad de autocompactación; el segundo se centra en modular la reología (fluidez, esfuerzo de cedencia y viscosidad plástica) y la estabilidad de la mezcla para garantizar un llenado homogéneo y sin segregación, incluso en presencia de refuerzos fibrosos o finos muy reactivos [7]. El desafío técnico reside en equilibrar esas metas: lograr matrices más densas y dúctiles mediante fibras de acero [8], basalto, vidrio o polímeros, y mediante adiciones puzolánicas manteniendo la autocompactabilidad que lo caracteriza [9].

5) *Modelado, Inteligencia Artificial y Machine Learning:* La aplicación de modelado, inteligencia artificial (IA) y machine learning (ML) al concreto autocompactable se ha desarrollado en la última década siguiendo dos líneas de trabajo estrechamente relacionadas. La primera línea está orientada a lo que es predecir propiedades clave del CAC propiedades frescas (fluidez, T50, retención de flujo) y propiedades después del curado (resistencia a compresión, tenacidad, módulo de rotura), con la finalidad de reducir el número de ensayos experimentales y agilizar el diseño de mezclas [10]. La segunda línea se centra en la optimización y control del proceso, esto incluye desde diseño de mezcla hasta control de planta y monitoreo en tiempo real mediante sensores, de modo que los modelos no solo predigan sino que informen decisiones operativas para garantizar calidad y sostenibilidad [11].

6) *Durabilidad y comportamiento frente agentes externos:* La durabilidad del concreto autocompactable (CAC) se ha abordado desde frentes complementarios. Por un lado, se estudia la respuesta a mecanismos de exposición (permeabilidad, succión capilar, difusión de cloruros, carbonatación, sulfatos, ciclos hielo a deshielo y reacción álcali-sílice), que gobiernan la vida útil bajo ambientes agresivos [12]. Por otro, se analiza el comportamiento funcional en servicio (retracción, fluencia, fatiga/impacto,

respuesta post-temperatura y estabilidad volumétrica) como condición para garantizar desempeño estructural y de servicio a largo plazo. El objetivo principal sigue siendo conciliar la autocompactabilidad basada en la elevada fracción de pasta y aditivos químicos con una microestructura densa y estable que limite la penetración de agentes agresivos y controle deformaciones diferidas [13].

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a su recolección de datos mediante ensayos numéricos. Este enfoque permite comprender el planteamiento de una idea, originada a partir de un problema o necesidad, y visualizar los alcances del estudio, donde la recopilación de datos sirve como punto de partida para realizar los ensayos pertinentes como resistencia a la compresión. Como guía las normativas ASTM, EFNARC y ACI.

B. Variables de Investigación

Variables independientes

- Tipo de concreto empleado: se elaborarán mezclas de concreto autocompactable (cac), diseñadas bajo las normas efnarc y aci 237r-07, y mezclas de concreto tradicional de 4000 psi, comúnmente utilizadas en honduras. La comparación entre ambos permitirá evaluar las diferencias en propiedades mecánicas y constructivas.
- Dosificación de aditivos químicos: particularmente el uso de superplastificantes, en el caso del CAC. Su presencia o ausencia influirá directamente en la fluidez, cohesión y estabilidad de las mezclas.
- Incorporación de fillers o materiales finos: en el CAC se utilizarán fillers que incrementan la cohesión de la mezcla. La proporción de estos materiales se convierte en una variable clave para la obtención de resultados óptimos.

Variables dependientes

Son los resultados medibles que reflejan los efectos de las variables independientes. En este proyecto, se evaluarán principalmente:

- Propiedades en estado fresco:
 - Fluidez y deformabilidad: medida a través del ensayo de slump flow (ASTM C1611) [14], que refleja la capacidad del concreto de fluir sin segregación.
 - Capacidad de paso: evaluada mediante el ensayo de j-ring, que indica la habilidad del concreto para atravesar zonas con presencia de refuerzo.
 - Estabilidad frente a segregación: observación de la homogeneidad de la mezcla y resistencia a la exudación.
- propiedades en estado endurecido:
 - Resistencia a compresión: determinada en cilindros de concreto a los 7, 14 y 28 días (ASTM C39) [15], lo que

permite comparar el desarrollo de la resistencia a lo largo del tiempo.

Módulo de rotura: ensayado en vigas prismáticas (ASTM C78) [16] , para valorar la capacidad del material frente a esfuerzos de flexión.

Análisis económico: costo por metro cúbico de mezcla, considerando el precio de los materiales, aditivos y procesos necesarios para cada tipo de concreto.

En Fig. 2 se muestra el proceso para obtener todos los resultados mostrados:



Fig. 2 Proceso de metodología.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados experimentales permitieron comparar de forma directa el comportamiento del concreto tradicional y del concreto autocompactable (CAC) bajo condiciones de laboratorio, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

A. Diseño de mezclas

Para el desarrollo experimental se elaboraron cuatro mezclas de concreto, considerando una muestra de control, muestra con aditivo y dos variantes con reemplazo parcial de cemento por porcelana en polvo. Este enfoque buscó analizar el impacto de la sustitución en las propiedades en estado fresco y endurecido, así como en la optimización del uso de materiales locales ver tabla 1.

La mezcla control (Mezcla tradicional) constituyó la base de referencia frente a las demás formulaciones. Se elaboró

exclusivamente con cemento Portland, agregados y agua, sin adiciones minerales ni superplastificantes.

La segunda mezcla en la que se utilizaría la misma dosificación pero con una adición de FXL2 . Se elaboró exclusivamente con cemento Portland, agregados, superplastificante y agua, sin adiciones minerales. Se necesitó de reducir la cantidad de agua ya que este superplastificante es bastante potente y funciona como reductor de agua quitando hasta un 20% de agua.

La tercera formulación se sustituyó el 20% del cemento por porcelana en polvo, incorporando además el aditivo superplastificante FXL2 para mantener la trabajabilidad de la mezcla.

La cuarta variante incorporó un reemplazo del 20% de cemento por porcelana en polvo y, además, se redujo un 10% de la fracción de arena. Esto permitió aumentar la proporción de porcelana, incrementando la cantidad de finos.

TABLA I
Mezclas de concreto

B. Propiedades en estado fresco

Material / Unidad	Control	Control con FXL2	Cemento pot Porcelana 20%	Cemento por Porcelana 20%, Arena por Porcelana 10%.
Cemento (kg/m³)	380	380	304	304
Porcelana en polvo (kg/m³)	0	0	76	166.9
Arena (kg/m³)	909	909	909	818
Grava 3/8" (kg/m³)	612	612	612	612
Agua (kg/m³)	230	200	200	200
Superplastificante FXL2 (ml/m³)	0	760	760	942

Los valores obtenidos de slumpflow fueron de 45 cm para la mezcla tradicional, la mezcla tradicional CAC alcanzó 57 cm de flujo, mientras que las mezclas modificadas mostraron valores de 51 cm (CAC con 20% menos de cemento) y 59cm (CAC con 20% menos de cemento y 10% menos de arena). Ver Fig.3 y 4.

Estos valores se encuentran dentro del rango recomendado por la EFNARC (2005) para concreto autocompactable (aprox. 55-70cm), lo que confirma que las mezclas CAC presentan la capacidad de colocarse sin vibrado. En términos prácticos, esto significa que las mezclas autocompactables lograron llenar moldes y rodear el refuerzo sin asistencia mecánica adicional, mientras que la mezcla tradicional si dependió del uso de vibrador.

La presencia de finos adicionales (porcelana en polvo) y el uso del superplastificante FXL2 fueron determinantes para

alcanzar esta fluidez sin generar segregación visible. Esto es relevante en contexto hondureño porque reduce tiempos de vaciado y disminuye la necesidad de personal especializado en vibrado.



Fig. 3. Resultados de la prueba de plato de mezcla de concreto autocompactable.



Fig. 4. Resultados en estado fresco en cm.

C. Propiedades en estado endurecido

Las resistencias a compresión confirmaron el comportamiento diferenciado entre las cuatro mezclas. (Fig.4 y 5.)

- A los 7 días, la mezcla tradicional alcanzó 17.34 MPA, mientras que las mezclas autocompactables mostraron valores superiores: la mezcla CAC tradicional registró 32.44 MPA, la mezcla CAC con 20% menos de cemento obtuvo 31.56 MPA y la mezcla CAC con 20% menos de cemento y 10% menos de arena alcanzó 32.47 MPA.

- A los 14 días, las mezclas autocompactables continuaron desarrollando resistencia. Se registraron valores promedio de 36.26 MPA para la mezcla CAC con 20% menos de cemento y 36.92 MPA para la mezcla CAC con 20% menos de cemento y 10% menos de arena. (Para este punto se observó que el concreto vibrado tradicional permaneció significativamente por debajo de estos valores).
- A los 28 días, la tendencia se mantuvo. La mezcla tradicional llegó a 4,100 psi, mientras que las mezclas autocompactables alcanzaron 41.09 MPA (CAC tradicional), 39.68 MPA (CAC con 20% menos de cemento) y 40.21 MPA (CAC con 20% menos de cemento y 10% menos de arena). En términos porcentuales, esto representa aumentos del orden de un 40% sobre la mezcla tradicional.



Fig. 5. Cilindros de compresión después de 24 horas.

El desarrollo de resistencia en las mezclas autocompactables se asocia con dos factores principales: Primero, la acción puzolánica de la porcelana en polvo, que contribuye a la formación de productos cementantes secundarios y mejora la densidad de la pasta y segundo, la reducción efectiva de la relación agua/cemento debido al uso del superplastificante FXL2 de Lazzarus & Lazzarus. Este comportamiento coincide con lo descrito en ACI 237R-07 para concretos autocompactables.

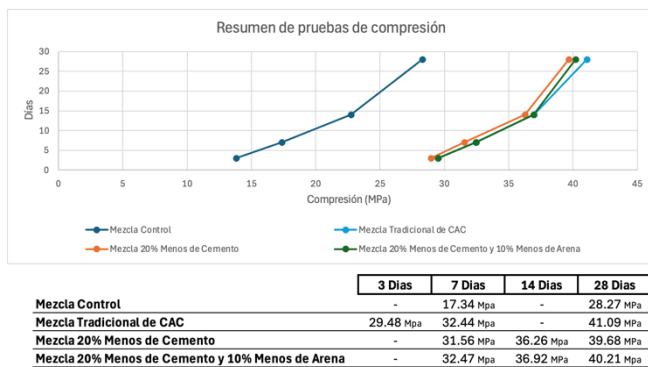


Fig. 6. Resumen de resistencia en psi promedio a los 3,7,14 y 28 días

D. Evaluación económica

Se realizó un análisis del costo directo por metro cúbico de cada mezcla, incluyendo materiales, mano de obra y equipo el siguiente costo por m³ se determinó con base en los precios locales del CHICO [17]. Los valores de porcelana y aditivo provienen de las fichas técnicas de Samson y Lazzarus [18], [19]:

- Concreto Tradicional: 219.05 USD//m³ (216.02 USD materiales, 2.51 USD mano de obra, 0.67 USD equipo)
- CAC Tradicional: 220.58 USD/m³ (218.41 USD materiales, 2.07 USD mano de obra, 0.10 USD equipo)
- CAC 20% menos de cemento: 248.34 USD/m³ (246.16 USD materiales, 2.07 USD mano de obra, 0.10 USD equipo)
- CAC Tradicional: 291.68 USD/m³ (289.50 USD materiales, 2.07 USD mano de obra, 0.10 USD equipo)

En términos relativos, la mezcla CAC tradicional tiene un costo total de apenas 0.7% más alto que el concreto tradicional por m³, pero ofrece alrededor de 12.41 MPA más de resistencia a los 28 días y no requiere vibrado. Las variantes con reducción de cemento y ajuste de finos sí presentan un incremento de costo más marcado (hasta 32.9%), pero aun así mantienen resistencias finales por encima de 39.30 MPA.

E. Aplicabilidad

Los resultados demuestran que el concreto autocompactable no solo es viable en Honduras desde el punto de vista técnico, sino que además ofrece desempeños de resistencia y calidad superficial que superan al concreto convencional. La mezcla CAC tradicional (La formulación base de CAC sin reducción adicional de cemento y arena) se

posiciona como una alternativa más equilibrada: mantiene un costo prácticamente equivalente al del concreto tradicional, pero mejora la trabajabilidad en estado fresco, elimina la necesidad de vibrado y alcanza resistencias significativamente mayores.

Estas características se traducen en ventajas prácticas, tales como:

- Reducción de tiempos de vaciado y compactación.
- Menor consumo de energía por eliminación del vibrado.
- Mejor homogeneidad y calidad superficial.
- Disminución de defectos estructurales internos.
- Mayor durabilidad y resistencia frente a agentes externos.

En conjunto, estos beneficios posicionan al CAC como un material más confiable y eficiente en comparación con el concreto convencional, especialmente en obras donde la calidad y la rapidez de ejecución son prioritarias.

Este balance técnico-económico indica que el CAC no es únicamente un material “especializado”, sino que puede plantearse como una solución directa para elementos de difícil acceso al vibrado, para piezas con alta congestión de acero y para procesos de prefabricación.

IV. CONCLUSIONES

Se verificó que es posible formular y producir concreto autocompactable en Honduras utilizando materias primas locales, porcelana en polvo como sustitución parcial de cemento y el aditivo superplastificante FXL2, cumpliendo con los parámetros de desempeño reportados en EFNARC y ACI 237R-07.

En estado fresco, el CAC logró valores de slump Flow entre 51 cm y 59 cm, frente a 45 cm en el concreto tradicional. Esto confirma que el CAC puede colocarse sin vibrado, lo que reduce mano de obra, ruido y riesgo de segregación.

En estado endurecido, las resistencias a 28 días de las mezclas autocompactables (entre 39.68 MPA y 41.09 MPA) fueron superiores a la mezcla tradicional (28.27 MPA), con incrementos cercanos al 40%. Esto demuestra que el CAC no solo mantiene la resistencia estructural requerida, sino que la mejora.

Desde el punto de vista económico, la mezcla CAC tradicional mostró un costo casi equivalente al concreto convencional (incremento cercano al 0.7% por m³), pero ofreció mayor resistencia y eliminó la necesidad de vibrado. Este resultado indica que el CAC es competitivo incluso sin considerar ahorros directos.

la adopción del concreto autocompactable en Honduras enfrenta ciertos retos. Entre los principales se destacan:

- La disponibilidad y costo de los aditivos superplastificantes de alta gama.
- La necesidad de controlar la granulometría y contenido de finos en los materiales locales.

- La falta de capacitación técnica en ensayos de fluidez y control de calidad del CAC.
- La ausencia de especificaciones estandarizadas en los pliegos de licitación pública.

Por ello, se recomienda implementar programas de capacitación en plantas de concreto y obras piloto, además de incluir en las especificaciones técnicas nacionales referencias a las normas ACI 237R-07 Y EFNARC (2005), que regulan las propiedades del concreto autocompactable.

Con una correcta supervisión y control de dosificación, el CAC tiene potencial de convertirse en una alternativa estándar en el país, especialmente en obras estructurales de alta exigencia o en zonas donde el acceso al vibrado es limitado.

En síntesis, el concreto autocompactable representa una solución moderna, práctica y sostenible para el sector de la construcción, es técnicamente viable y económicamente justificable en aplicaciones estructurales reales dentro del contexto hondureño, especialmente en elementos con alta congestión de acero, geometría compleja o exigencia de acabado superficial.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

A la empresa Hormigón por facilitar sus laboratorios y patrocinar los materiales utilizados en esta investigación A la empresa Lazzarus & Lazzarus por patrocinar los ensayos en estado fresco y endurecido finalmente, a la empresa SEEP Ingeniería por facilitar los proyectos de dicha empresa para poder realizar las pruebas de vibrado como así sus rendimientos. De igual forma, se agradece al asesor técnico Ing. Jared Urias por su orientación técnica.

REFERENCIAS

- [1] «Publications», EFNARC. Accedido: 1 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://efnarc.org/publications>
- [2] ACI. «ACI PRC-237-07 Self-Consolidating Concrete (Reapproved 2019)». Accedido: 1 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=23707&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC
- [3] M. Boutlikht *et al.*, «Optimizing of Self-Compacting Concrete (SCC): Synergistic Impact of Marble and Limestone Powders—A Technical and Statistical Analysis», *Buildings*, vol. 15, n.º 7, Art. n.º 7, ene. 2025, doi: 10.3390/buildings15071043.
- [4] L. Wang *et al.*, «The Properties of Self-Compacting Ultra-High Performance Concrete with Different Types of Mineral Admixtures», *Coatings*, vol. 15, n.º 5, p. 591, may 2025, doi: 10.3390/coatings15050591.
- [5] A. ElNemr y R. Shaltout, «Rheological and Mechanical Characterization of Self-Compacting Concrete Using Recycled Aggregate», *Materials*, vol. 18, n.º 7, p. 1519, ene. 2025, doi: 10.3390/ma18071519.
- [6] M. E. Mathews, T. Kiran, A. Nammalvar, M. Anbarasu, B. Kanagaraj, y D. Andrushia, «Evaluation of the Rheological and Durability Performance of Sustainable Self-Compacting Concrete», *Sustainability*, vol. 15, n.º 5, p. 4212, ene. 2023, doi: 10.3390/su15054212.
- [7] G. Rutkowska, J. Szulej, y P. Ogrodnik, «The Influence of Fibre and Fly Ash Additions on the Properties of Self-Compacting Concrete», *Materials*, vol. 18, n.º 11, p. 2565, ene. 2025, doi: 10.3390/ma18112565.
- [8] H. Liu, N. Shi, Z. Yu, y Y. Zhu, «Research on Working and Mechanical Properties of Self-Compacting Steel-Fiber-Reinforced High-Strength Concrete», *Buildings*, vol. 15, n.º 16, p. 2875, ene. 2025, doi: 10.3390/buildings15162875.
- [9] Y. Zhao, N. Ru, J. Wang, Y. Li, y Y. Zhou, «Study on the Influence of Fiber Parameters on the Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete», *Constr. Mater.*, vol. 5, n.º 2, p. 25, jun. 2025, doi: 10.3390/constrmater5020025.
- [10] A. La Scala y L. Carnimeo, «Effective Comparison of Thermo-Mechanical Characteristics of Self-Compacting Concretes Through Machine Learning-Based Predictions», *Fire*, vol. 8, n.º 8, p. 289, ago. 2025, doi: 10.3390/fire8080289.
- [11] Y. Aidjouli, C. Belebchouche, A. Hammoudi, E.-H. Kadri, S. Zouai, y S. Czarniecki, «Modeling the Properties of Sustainable Self-Compacting Concrete Containing Marble and Glass Powder Wastes Using Response Surface Methodology», *Sustainability*, vol. 16, n.º 5, p. 1972, ene. 2024, doi: 10.3390/su16051972.
- [12] X. Yan *et al.*, «A New Type of Self-Compacting Recycled Pervious Concrete Under Sulfate Drying–Wetting Exposure», *Materials*, vol. 18, n.º 3, p. 704, ene. 2025, doi: 10.3390/ma18030704.
- [13] M. E. Mathews, T. Kiran, A. Nammalvar, M. Anbarasu, B. Kanagaraj, y D. Andrushia, «Evaluation of the Rheological and Durability Performance of Sustainable Self-Compacting Concrete», *Sustainability*, vol. 15, n.º 5, p. 4212, ene. 2023, doi: 10.3390/su15054212.
- [14] ASTM C1611, «Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete». Accedido: 13 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://store.astm.org/c1611_c1611m-21.html
- [15] ASTM C39, «Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens». Accedido: 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html
- [16] ASTM C78, «Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)». Accedido: 13 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/c0078-09.html>
- [17] CHICO, «Tablas de costos de materiales de construcción en Honduras», Cámara Hondureña de la Industria de la Construcción, Tegucigalpa, Honduras, 2023.
- [18] Samson Materials, «Ficha técnica porcelana en polvo calcinada», Catálogo técnico Samson Materials, San Pedro Sula, Honduras, 2024.
- [19] Lazzarus & Lazzarus, «Ficha técnica superplastificante FXL2 ADMIX», Catálogo técnico Lazzarus & Lazzarus, Tegucigalpa, Honduras, 2024.