

Ferrocement as an Alternative to the Confined Masonry System with Concrete Block for Social Housing

Thamy Ritshely Melgar Argueta¹; José Javier Reyes Fajardo¹; Marco Tulio Canales Chávez¹
Karla Uclés Brevé¹; Julio César López Zerón¹

¹Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras;
thamymelgar25@unitec.edu, jjreyes1@unitec.edu, marco.canales@unitec.edu.hn, karla_ucles@unitec.edu, jclopezeron@unitec.edu

Abstract— *This study evaluates the feasibility of using ferrocement as a fully load-bearing enclosure system for low-income housing in Honduras, replacing concrete-block walls and conventional reinforced concrete elements with 25-mm-thick prefabricated panels reinforced by galvanized mesh and ¼" round bars. A mixed-method approach combined an up-to-date cost comparison with stringent structural verification. Unit-price analyses based on 2025 market data yielded overall costs of HNL 192 029.19 for the conventional prototype and HNL 169 075.42 for the ferrocement alternative, producing a direct saving of HNL 22 954 (about 30 % of grey-work expenditure) and an estimated 18 % reduction in CO₂ emissions due to lower cement consumption. Structurally, a single-story dwelling, replicating a Habitat for Humanity Honduras layout, was modelled in STAAD.Pro under CHOC-08 load combinations. The analysis delivered a design flexural capacity of 0.61 kN·m/m and a shear capacity of 21.78 kN/m², both exceeding ACI 549R-97 thresholds with safety factors of 1.56 and 1.21, respectively. Findings indicate that ferrocement offers cost-effective, structurally sound, and time-efficient construction, enabling households earning less than four monthly minimum wages to secure home ownership and allowing government programs.*

Keywords—*Ferrocement, Social housing, Structural analysis, Cost optimization, Sustainability.*

Ferrocemento como Alternativa al Sistema de Mampostería Confinada con Bloque de Concreto para Viviendas de Interés Social

Thamy Ritshely Melgar Argueta¹; José Javier Reyes Fajardo¹; Marco Tulio Canales Chávez¹; Karla Uclés Brevé¹; Julio César López Zerón¹

¹Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras; thamymelgar25@unitec.edu, jjreyes1@unitec.edu, marco.canales@unitec.edu.hn, karla_uclés@unitec.edu, jclopezeron@unitec.edu

Resumen— La presente investigación analiza la factibilidad de emplear ferrocemento como sistema integral de cerramiento portante para viviendas de interés social en Honduras, sustituyendo paredes de bloque de concreto y elementos de concreto armado por paneles prefabricados de 25 mm reforzados con malla galvanizada y varilla lisa de ¼". Se aplicó una metodología mixta que combina un estudio comparativo de costos y una verificación estructural rigurosa. En la fase económica se elaboraron fichas unitarias actualizadas con precios de mercado 2025, obteniéndose un costo total de L 192 029,19 para la vivienda convencional y de L 169 075,42 para la solución en ferrocemento, lo que representa un ahorro de L 22 954 (≈ 30 % de la partida de obra gris) y una reducción del 18 % en emisiones de CO₂ asociadas al uso de cemento. En la fase técnica se modeló la vivienda tipo "Hábitat para la Humanidad Honduras" en STAAD.Pro, aplicando combinaciones de carga CHOC-08 y propiedades mecánicas validadas por ensayos regionales. El modelo evidenció un momento flector resistente de 0,61 kN-m/m y una resistencia a cortante de 21,78 kN/m², superando los requisitos mínimos del ACI 549R-97 con factores de seguridad de 1,56 y 1,21, respectivamente. Los resultados confirman que el ferrocemento brinda viabilidad económica, seguridad estructural, rapidez constructiva y potencial de escalamiento, permitiendo a hogares con ingresos inferiores a cuatro salarios mínimos acceder a una vivienda digna y posibilitando al Estado desarrollar proyectos sociales.

Palabras clave— Ferrocemento, Vivienda social, Análisis estructural, Optimización de costos, Sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, el sector de la construcción ha experimentado la incorporación progresiva de nuevas tecnologías orientadas a mejorar los procesos constructivos, optimizar recursos y reducir los costos asociados a las edificaciones. En el contexto hondureño, si bien se ha evidenciado un avance notable en las últimas décadas en cuanto al volumen y diversidad de edificaciones construidas, persiste la necesidad de adoptar materiales innovadores que permitan responder con mayor eficacia a los desafíos de la sociedad, tales como ser, accesibilidad económica, eficiencia estructural y sostenibilidad ambiental en la edificación de viviendas de interés social.

En este escenario, el ferrocemento surge como una alternativa tecnológica de particular relevancia. Este material

se define como un tipo especial de concreto reforzado conformado por una matriz de mortero de cemento hidráulico, arena fina y agua, en la que se embeben mallas metálicas o armaduras de pequeño diámetro, generalmente distribuidas en múltiples capas, lo cual confiere al elemento una elevada compacidad, resistencia mecánica y comportamiento dúctil frente a cargas estructurales. Gracias a estas propiedades, el ferrocemento permite reducir significativamente el espesor de los elementos constructivos a un rango entre 1.0 y 1.5 cm, sin comprometer la capacidad estructural ni la estabilidad del sistema [1].

La presente investigación está orientada a demostrar la viabilidad técnica y económica de sustituir los sistemas constructivos tradicionales compuestos por bloques de concreto y elementos estructurales de concreto armado (como columnas, castillos, soleras y cargadores) por paneles estructurales de ferrocemento, en el diseño y construcción de viviendas sociales. Para tal propósito, se plantea una comparación directa de costos unitarios de construcción entre ambos sistemas, utilizando como base un prototipo de vivienda de interés social proporcionado por la organización Hábitat para la Humanidad Honduras (HPHH), y estimando las diferencias presupuestarias resultantes únicamente en la fase de obra gris.

De forma complementaria, se implementa un análisis estructural detallado mediante el software STAAD.Pro, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema de ferrocemento bajo las cargas reglamentarias establecidas por el Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08). Dicho análisis se enfoca en validar el cumplimiento de los parámetros mínimos de resistencia a cortante y momento flector, contrastando los resultados obtenidos con los criterios técnicos y límites establecidos por la guía del American Concrete Institute (ACI 549R-97) para estructuras en ferrocemento [2].

Cabe destacar que el estudio no se limita únicamente a aspectos económicos o estructurales, sino que incorpora una visión contextual integral que incluye la revisión de planos prototipo, parámetros técnicos locales y la incorporación de consideraciones relacionadas con las condiciones climáticas típicas de las regiones tropicales hondureñas, la topografía

promedio de los terrenos urbanizables destinados a vivienda social, y las implicaciones en términos de cimentación. Estos aspectos son fundamentales para validar la aplicabilidad real del sistema de ferrocemento, ya que permiten proyectar un análisis más realista y completo de su implementación práctica en las condiciones propias del país [4], [5].

En suma, la propuesta de investigación pretende no solo aportar evidencia comparativa entre sistemas constructivos, sino también contribuir al desarrollo de criterios técnicos que fundamenten la incorporación del ferrocemento como alternativa viable en programas habitacionales masivos, con énfasis en la mejora del acceso a vivienda digna, segura y asequible en Honduras.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. Precedentes del Problema

La problemática del acceso a la vivienda en América Latina no radica únicamente en la disponibilidad de unidades habitacionales, sino en la asequibilidad de estas para amplios sectores de la población. Aunque existen diversas ofertas habitacionales desarrolladas por el sector formal, estas suelen estar fuera del alcance económico de familias con ingresos bajos o irregulares, situación que se ha intensificado por el aumento sostenido en los precios de los principales materiales de construcción, como el cemento Portland y el acero [4], [6].

En el caso específico de Honduras, esta situación se agrava por la persistente brecha entre el crecimiento urbano y la capacidad adquisitiva de la población, generando una presión sostenida sobre el sistema de vivienda social. Aunque se ha registrado un avance significativo en el volumen de construcción en años recientes, persiste la carencia de soluciones constructivas verdaderamente accesibles y técnicamente eficientes. En este contexto, la innovación en materiales juega un papel crucial para reducir costos sin comprometer la calidad y seguridad estructural de las viviendas [7].

Adicionalmente, el contexto topográfico y climático del país, caracterizado por regiones montañosas, suelos arcillosos y exposición a fenómenos hidrometeorológicos, exige soluciones constructivas adaptables, ligeras y con un buen desempeño estructural frente a eventos naturales, lo que amplía el reto de lograr soluciones viables y sostenibles para el desarrollo urbano en zonas vulnerables [8].

B. Definición del Problema

El cemento Portland continúa siendo el insumo predominante en la construcción de viviendas en Honduras. Sin embargo, su uso intensivo contribuye directamente al encarecimiento de las soluciones habitacionales, no solo por el costo del material en sí, sino también por el volumen de obra que demanda, la mano de obra especializada requerida y el tiempo constructivo asociado. Este escenario limita

gravemente la capacidad de las familias de bajos ingresos para acceder a una vivienda digna.

Aunque el ferrocemento ha demostrado aplicaciones exitosas en otras regiones del mundo (particularmente en sistemas de almacenamiento de agua y soluciones livianas a nivel arquitectónico), su adopción como material estructural para vivienda es aún incipiente en el país. La escasa documentación técnica y normativa sobre su empleo en edificaciones habitacionales representa una barrera para su implementación a gran escala [9].

Esta situación evidencia una desconexión entre las potencialidades del ferrocemento y las prácticas constructivas tradicionales, por lo que resulta imperativo profundizar en el estudio técnico y económico de su uso como sustituto de los sistemas convencionales en el diseño de vivienda social.

C. Justificación

Frente al aumento sostenido del precio del cemento Portland y la necesidad de ampliar el acceso a la vivienda social, se vuelve esencial identificar materiales alternativos que permitan reducir el costo por unidad de construcción sin menoscabar la calidad estructural ni funcional de la edificación. En este marco, el ferrocemento se presenta como una solución constructiva que, además de reducir significativamente el volumen de cemento requerido, ofrece ventajas adicionales como mayor ductilidad, menor peso propio, facilidad de prefabricación y rapidez en la ejecución [10].

La presente investigación se propone evaluar rigurosamente el uso del ferrocemento como solución integral, desde una doble perspectiva: técnica (resistencia estructural y viabilidad constructiva) y económica (comparación de costos unitarios). Al establecer una comparación directa con el sistema tradicional de paredes de bloque de concreto y elementos de concreto armado, se busca generar evidencia empírica que sustente la adopción de sistemas de ferrocemento en políticas de vivienda social, contribuyendo con ello a la reducción del déficit habitacional y al fortalecimiento de la resiliencia urbana.

El estudio adquiere especial relevancia en tanto propone una alternativa viable para la racionalización del uso de cemento Portland, material cuyo elevado consumo genera impactos económicos y ambientales significativos. A su vez, la propuesta aporta a los esfuerzos por democratizar el acceso a una vivienda digna y segura, objetivo clave dentro de la agenda nacional de desarrollo urbano sostenible.

III. METODOLOGÍA

A. Enfoque

La metodología empleada en esta investigación se fundamenta en un enfoque dual: comparativo y técnico-desempeño. El primero corresponde a la evaluación económica entre dos soluciones constructivas (paredes

tradicionales de bloque de concreto con elementos de refuerzo de concreto armado vs paneles estructurales de ferrocemento); mientras que el segundo enfoque se dirige a analizar el comportamiento estructural del ferrocemento como sistema de cerramiento portante bajo cargas reglamentarias, con base en simulaciones computacionales.

Desde el punto de vista económico, se desarrolla una comparación de presupuestos centrada exclusivamente en la obra gris de una vivienda de interés social, considerando fichas de costos unitarios con precios actualizados de materiales y actividades claves como la construcción de paredes, castillos, soleras, cargadores y jambas. A su vez, se elaboran fichas técnicas equivalentes para paneles de ferrocemento, utilizando criterios estándar de cuantificación y rendimiento en base a normativas locales [6].

Desde la perspectiva técnica, se diseña un modelo de vivienda que incorpora el uso del ferrocemento como elemento portante para la estructura de techos. El modelo geométrico es generado en AutoCAD® y posteriormente exportado al software de análisis estructural STAAD.Pro®, donde se analizan los elementos bajo las solicitaciones reglamentarias estipuladas en el Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08), evaluando su capacidad resistente ante flexión, cortante y esfuerzos combinados de tracción y compresión.

El enfoque general de la investigación es mixto. En el componente cualitativo, se recopila y analiza información técnica sobre el ferrocemento, sus propiedades mecánicas, ventajas constructivas y experiencias documentadas en otros contextos. En otro caso, el componente cuantitativo contempla el levantamiento de cantidades de obra, análisis de precios unitarios, modelado estructural y evaluación comparativa de los resultados. Todo ello se realiza mediante el uso de software especializado para dicho propósito, tal como ser: AutoCAD®, STAAD.Pro®, MS Excel®, en correspondencia con especificaciones normativas como la Norma Cubana de Construcción de 2007 y ACI 549R-97 [7], [8].

B. Variables de la Investigación

Variables Dependientes:

- ✓ *Costo unitario (L/U) vivienda convencional:* Representa el costo directo de una unidad habitacional utilizando sistemas tradicionales de construcción. Se calculará con base en materiales, mano de obra, herramientas y equipo, considerando fichas de costos unitarios estandarizadas.
- ✓ *Costo unitario (L/U) vivienda con ferrocemento:* Se calcula bajo los mismos parámetros que el modelo convencional, adaptando los ítems a la tecnología del ferrocemento.
- ✓ *Resistencia estructural:* Corresponde a resultados técnicos obtenidos del modelo estructural analizado con el apoyo del programa STAAD.Pro®, incluyendo los valores de resistencia a cortante, flexión y esfuerzos combinados.

Variables Independientes:

- ✓ *Precios unitarios de actividades convencionales:* Incluyen datos obtenidos del presupuesto proporcionado por HPHH para una vivienda prototipo construida bajo métodos tradicionales.
- ✓ *Fichas técnicas para ferrocemento:* Incluyen materiales, herramientas y procedimientos asociados a la ejecución de paneles de ferrocemento prefabricados.
- ✓ *Rendimientos de materiales y mano de obra:* Calculados con base al manual de rendimientos para fichas unitarias, conformado por el Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS), y valores de referencia de proyectos similares.
- ✓ *Secuencia de procesos constructivos:* Define las relaciones de precedencia lógica entre actividades constructivas para cada uno de los sistemas comparados.
- ✓ *Propiedades mecánicas del ferrocemento:* Se consideran parámetros experimentales documentados y valores de diseño propuestos por normas técnicas internacionales, particularmente en lo relativo a resistencia a flexión y cortante [9].

C. Técnicas e Instrumentos Aplicados

- ✓ *STAAD.Pro®:* Software de análisis estructural empleado para modelar una vivienda de interés social utilizando paneles de ferrocemento. Permite simular esfuerzos y deformaciones bajo distintas combinaciones de carga y validar la respuesta estructural frente a exigencias normativas.
- ✓ *AutoCAD®:* Herramienta CAD empleada para el diseño geométrico y generación de planos de la propuesta de vivienda, facilitando la definición de geometría, secciones y detalles constructivos.
- ✓ *MS Excel®:* Aplicado para la elaboración de fichas de costos unitarios, estimación de cantidades de obra y comparación presupuestaria entre los dos modelos habitacionales.
- ✓ *CHOC-08:* Código Hondureño de la Construcción, que establece las cargas reglamentarias mínimas de diseño (muerta, viva, sismo y viento), utilizadas como insumo para el modelado estructural en STAAD.Pro.

D. Metodología de Estudio

En el componente económico:

- ✓ Realización de estimaciones detalladas de cantidades de obra, rendimientos y porcentajes de desperdicio.
- ✓ Cálculo y verificación de precios de mercado de materiales, insumos y mano de obra.
- ✓ Formulación de fichas unitarias y consolidación del presupuesto de obra gris.

En el componente estructural:

- ✓ Desarrollo de planos constructivos adaptando la propuesta de ferrocemento sobre un modelo de vivienda convencional.
- ✓ Modelado de la estructura en STAAD.Pro con inserción de propiedades mecánicas específicas del ferrocemento.
- ✓ Simulación con aplicación de cargas reglamentarias del CHOC-08.
- ✓ Análisis de resultados y comparación de esfuerzos obtenidos con límites establecidos por ACI 549R-97.
- ✓ Evaluación de cumplimiento estructural mediante criterios de seguridad y desempeño.

E. Metodología de Validación

La validación del enfoque metodológico se fundamenta en dos pilares: (I) la comparación estructurada de costos y (II) el cumplimiento normativo en términos de resistencia. La propuesta se compara con estudios precedentes y experiencias aplicadas en otras regiones, destacando el trabajo desarrollado por Yemma Fuentes, bajo la tutoría del Dr. Ing. Hugo Wainshtok Rivas (autor del libro Ferrocemento: Diseño y Construcción), cuyas contribuciones al conocimiento del ferrocemento han sido ampliamente documentadas [1].

Asimismo, se incluyen las directrices constructivas descritas en la Norma Cubana de Construcción (2007), la cual presenta lineamientos técnicos específicos sobre el empleo de armaduras ligeras, mallas y métodos de aplicación, permitiendo establecer un marco referencial para la evaluación de viabilidad del sistema [7].

Finalmente, el cumplimiento estructural del modelo propuesto se valida conforme a requisitos del ACI 549R-97 [2], en referencia al parámetro de propiedades mecánicas mínimas requeridas para estructuras de ferrocemento, asegurando la aplicabilidad técnica de la solución en condiciones reales de ejecución.

IV. RESULTADOS

A. Diseño geométrico de panel de ferrocemento y elección de materiales

El diseño geométrico de los paneles de ferrocemento se desarrolló tomando como base criterios de optimización estructural, facilidad constructiva y eficiencia económica. Se consideraron parámetros técnicos tales como el espesor promedio, la longitud más comúnmente utilizada en sistemas prefabricados de cerramiento vertical, y una configuración geométrica de tipo canal "U" invertida, que permite aprovechar las propiedades resistentes del ferrocemento ante cargas verticales.

El panel prototipo definido presenta un espesor de 2.5cm, ancho de 50cm, aletas de 13cm y una altura total de 210cm, coincidiendo con la altura estándar de los muros en la tipología de vivienda social considerada. Esta geometría se

muestra en el esquema de Fig. 1, que representa gráficamente las proporciones empleadas para el modelado estructural y el análisis de costos.

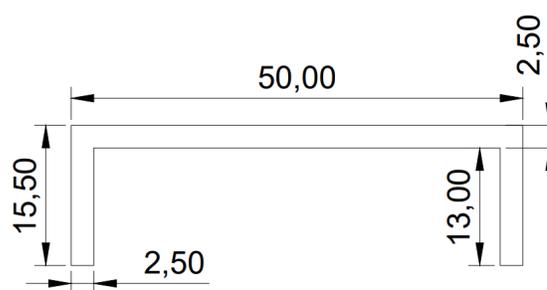


Fig. 1 Panel de ferrocemento prototipo de estudio (unidades en centímetros).

En cuanto a los materiales específicos:

Malla hexagonal galvanizada (malla de gallinero): Se optó por una presentación comercial de 7 pies de altura, debido a que coincide con la altura del panel prototipo, lo cual elimina la necesidad de cortes y uniones adicionales. Este criterio responde no solo a razones técnicas, sino también a consideraciones de economía de escala y reducción de desperdicio en obra. Además, el uso de malla galvanizada garantiza una mayor durabilidad frente a ambientes húmedos o expuestos, aspecto relevante en zonas tropicales como Honduras [11].

Varilla de acero liso de ¼" de diámetro: Este diámetro fue seleccionado por ser el tipo más económico y ampliamente disponible en el mercado local. Su elección obedece tanto a razones presupuestarias como a la compatibilidad con el espesor reducido del panel. Este tipo de refuerzo, al estar embebido en una matriz densa de mortero, permite la formación de un esqueleto estructural con adecuado desempeño ante cargas de flexión y tracción.

Este diseño busca alcanzar un equilibrio entre simplicidad constructiva, resistencia estructural y optimización de recursos, en concordancia con el objetivo general de esta investigación.

B. Comparación de Costos

Con el fin de contrastar el comportamiento económico de ambas propuestas constructivas, se elaboraron dos presupuestos detallados: uno correspondiente a la solución tradicional de vivienda social con paredes de bloque de concreto de 10 cm y elementos estructurales de soporte, y otro que incorpora paneles de ferrocemento como sistema integral de cerramiento portante.

Para la vivienda tradicional, se incluyeron los siguientes rubros: sistema estructural (jambas, castillos, cargadores, soleras), y por supuesto, la pared de bloque de concreto como tal y acabados en elementos estructurales, los cuales suman un total de L.74,443.54, como se muestra en la Tabla I.

TABLA I
RESUMEN DE PRESUPUESTO PARA UNA VIVIENDA SOCIAL TRADICIONAL CON PAREDES DE BLOQUE DE CONCRETO DE 10CM (4IN)

Ítem	Actividad	Total ^a
1	Jamba 10x15cm 2#3, #2@20cm	L.4,087.29
2	Castillo 15x20cm 4#3, #2@20cm	L.1,116.57
	Total jambas, castillos y columnas	L.5,203.86
4	Cargador 20x15cm 4#3, #2@20cm	L.1,478.62
5	Solera inferior 15x15cm 4#3, #2@20cm sobre pared	L.8,245.32
	Total cargadores y soleras	L.17,969.26
6	Pared de bloque de concreto 4" (mortero 1:4)	L.49,439.44
	Total de paredes	L.49,439.44
7	Tallado de elementos de Concreto	L.1,830.98
	Total acabados	L.1,830.98
	TOTAL	L.74,443.54

^aL.1.00 equivale a 0.039 USD.

Por otro lado, la solución con ferrocemento se estructuró en tres actividades clave: panel central, panel esquinero de 0.50x0.50m y panel esquinero de 0.30x0.40m, alcanzando un presupuesto total de L.59,744.99, como se presenta de forma desglosada en la Tabla II.

TABLA II
RESUMEN DE PRESUPUESTO PARA UNA VIVIENDA SOCIAL TRADICIONAL CON LA PROPUESTA DE PAREDES DE FERROCEMENTO

Ítem	Actividad	Total ^a
1	Panel de ferrocemento central	L.43,584.28
2	Panel de ferrocemento esquinero 0.5mx0.5m	L.6,420.83
3	Panel de ferrocemento esquinero 0.3mx0.4m	L.1,494.56
	Total de paredes	L.59,744.99
	TOTAL	L.59,744.99

^aL.1.00 equivale a 0.039 USD.

La diferencia total asciende a L.22,943.86, reflejando una reducción del 30.8% en la partida correspondiente a obra gris de cerramiento. Cabe destacar que el sistema tradicional implicó siete actividades diferenciadas, mientras que en el sistema de ferrocemento se logró una simplificación con tres actividades principales, lo cual representa un beneficio adicional en términos de tiempos de ejecución, logística de materiales, y control de calidad en obra.

Además, esta simplificación funcional tiene un impacto positivo sobre la planificación y programación de obra, dado que reduce el número de cuadrillas especializadas requeridas y facilita procesos de prefabricación en taller o sitio, lo que es coherente con estrategias contemporáneas de construcción eficiente aplicadas en vivienda social [12].

C. Análisis Estructural de la Vivienda con Paneles de Ferrocemento

Como complemento al análisis económico, se procedió a verificar el desempeño/rendimiento estructural del sistema de ferrocemento, mediante un modelo digital simulado en el software STAAD.Pro®. La configuración técnica del modelo contempló una estructura de vivienda con paneles de ferrocemento como elementos verticales, estructura de techo

metálica ligera (perfiles conformados en frío tipo canaleta), y de forma inevitable, las cargas reglamentarias definidas por el código CHOC-08, incluyendo carga muerta, carga viva, viento y sismo.

Las propiedades mecánicas asignadas al ferrocemento en el modelo fueron determinadas con base en valores de referencia de literatura técnica y normativa ACI 549R-97, considerando su equivalencia estructural al concreto con matriz densa. Entre ellas se encuentran: módulo de elasticidad (E), módulo de cortante (G), y resistencia a compresión [2], [13]. Estas propiedades fueron introducidas para caracterizar el comportamiento del material ante sollicitaciones tanto en el plano como fuera del plano.

En la Fig. 2 se presentan los valores adoptados para el análisis, mientras que la Fig. 3 muestra la geometría estructural del modelo utilizado, destacando la discretización de paneles como losas planas vinculadas a la estructura del techo.

Propiedades del ferrocemento	
Espesor	$6 \leq d_w \leq 50 \text{ mm}$
Recubrimiento del acero	$1.50 \leq D \leq 3.0 \text{ mm}$
Resistencia última a tracción	Hasta 35 MPa
Deformación última a tracción	0.0035 o la deformación última del refuerzo
Esfuerzo permisible a tracción	$0.6 f_y$ o hasta 14 MPa
Módulo de ruptura	Hasta 70 MPa
Relación flexión/tracción	De 2.0 a 2.5
Resistencia a la compresión	De 12 a 96 MPa
Ancho de fisuras W	$0.05 \leq W \leq 0.10 \text{ mm}$

Fig. 2 Propiedades mecánicas del Ferrocemento.

Algunas propiedades como ser, el módulo de elasticidad (E) y módulo de cortante (G), se estimaron de acuerdo con algunas propiedades del concreto debido a su similitud, y que están descritas en el ACI 1997 que especifica una guía para el diseño y construcción de ferrocemento [2].

Cabe recordar que en la Fig. 3 se presenta el modelo estructural aproximado de la vivienda configurado en el programa STAAD.Pro®, donde se observa la discretización de los paneles de ferrocemento para el análisis preliminar de resistencia que considera la pieza más crítica expuesta a la configuración de cargas reglamentarias aplicadas.

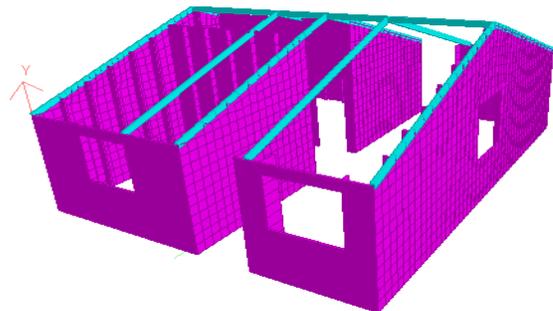


Fig. 3 Vista geométrica del modelo estructural de la vivienda en STAAD.Pro.

Esta configuración permite estudiar de forma realista la interacción entre cargas verticales y la capacidad portante de los paneles de ferrocemento, proporcionando una base técnica para comparar sus valores de resistencia a cortante y flexión con los límites establecidos por el ACI 549R-97.

D. Verificación de Resistencias

El ferrocemento es un material compuesto que combina una matriz de mortero de alta compacidad con mallas metálicas y armaduras delgadas, otorgándole una excelente resistencia mecánica y comportamiento dúctil.

Estas propiedades han sido ampliamente validadas por investigaciones previas y normativas técnicas internacionales, posicionando al ferrocemento como una alternativa estructural confiable para paneles de cerramiento con función portante.

Para verificar su aplicabilidad estructural en el contexto de una vivienda de interés social, se elaboró un modelo estructural completo en el software STAAD.Pro, discretizando los paneles verticales de ferrocemento como losas sometidas a cargas reglamentarias.

Las solicitaciones aplicadas corresponden al código nacional CHOC-08, incluyendo carga muerta, carga viva, presión de viento y acción sísmica, que fueron configuradas bajo combinación de carga de diseño estático lineal.

El análisis se enfocó en dos criterios fundamentales: (I) resistencia al esfuerzo cortante y (II) resistencia a la flexión, ambos evaluados contra valores límite propuestos por el ACI 549R-97. En este subapartado se detalla el cumplimiento estructural respecto al cortante, siendo la flexión abordada en el siguiente apartado.

E. Resistencia al Cortante

Aunque los elementos delgados de ferrocemento suelen presentar fallas dominadas por flexión debido a su configuración geométrica (relación altura-longitud elevada), la verificación del cortante es esencial para validar la seguridad estructural integral del sistema. En concordancia con los lineamientos técnicos reportados por Malpica [14], se consideró que el cortante no gobernaría, pero debía ser formalmente comprobado.

Para validar este aspecto mecánico se utilizó la ecuación clásica de resistencia nominal al cortante proporcionada por la matriz de mortero, basada en la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión (1).

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c}}{6} \quad (1)$$

Donde:

V_c ; Resistencia promedio nominal cortante proporcionada por la matriz de mortero.

f_c ; Resistencia a la compresión del mortero.

Para una resistencia a compresión de $f_c=25,000\text{kN/m}^2$ se obtiene como resultado una resistencia cortante equivalente a $V_c=26.35\text{kN/m}^2$.

En la Fig. 4 se observa la concentración de esfuerzos a cortante, donde colores más claros indican baja solicitación, mientras que colores más oscuros son indicio de una mayor concentración de esfuerzo cortante. Para fines de reflexionar sobre el comportamiento cortante, es posible observar que la mayor incidencia de esfuerzos se presenta en la parte frontal, tal como puede ser apreciado en la Fig. 5.

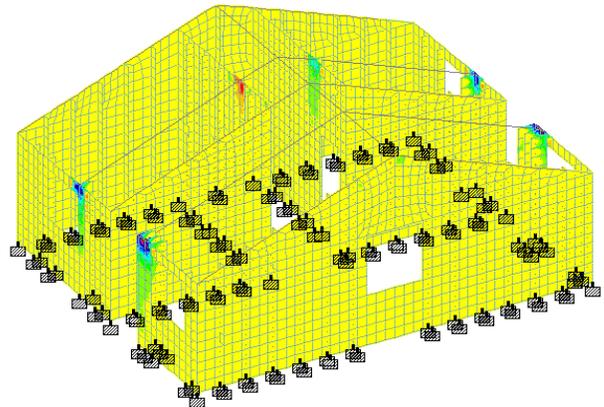


Fig. 4 Vista 3D de la concentración de esfuerzos a cortante en la estructura.

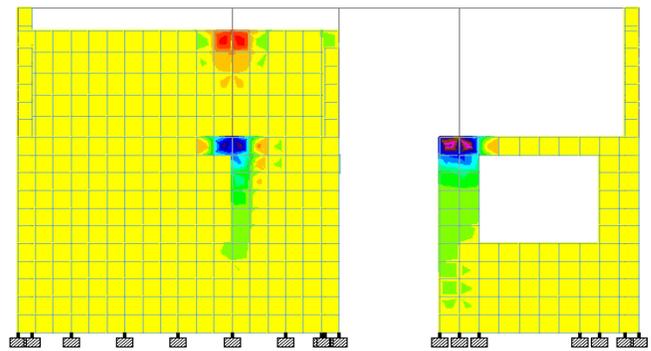


Fig. 5 Concentración de esfuerzos a cortante vista frontal.

En el programa se analizaron los elementos sometidos a una resistencia a cortante previamente aplicando las cargas reglamentarias y analizando la combinación de carga con mayor incidencia en el elemento, para lo cual se obtuvo el valor de cortante reflejado en la Fig. 6.

Plate No : 1114

Load List : 12:1.4D+1.7L

Plate Center Stresses

SQX (local) kN/m2	SQY (local) kN/m2	SX (local) kN/m2	SY (local) kN/m2
21.782	-8.03619	-2308.49	551.049
SXY (local) kN/m2	MX (local) kN-m/m	MY (local) kN-m/m	MX Y (local) kN-m/m
-63.1289	0.0131828	0.0234228	-0.0324858

Fig. 6 Cortante máximo en la estructura.

Tomando como punto de partida la Fig. 6, donde se muestra un valor cortante máximo de 21.78kN/m², se realiza la comparación de valores de cortante con (2)

$$21.78 \text{ kN/m}^2 \leq 26.35 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Por tanto, se concluye que los paneles de ferrocemento diseñados para la vivienda social propuesta cumplen con los requisitos de resistencia al cortante, según lo establecido por la normativa internacional, validando así su capacidad estructural para aplicaciones de cerramiento portante.

F. Momento de Flexión

Para determinar la comparación entre ambos momentos, se hizo un análisis con el panel de ferrocemento en una longitud de un metro. En la siguiente ilustración se observa la concentración de la fuerza en distintos elementos. Los colores claros indican baja concentración de fuerzas mientras que los colores oscuros indican mayor concentración de esfuerzos.

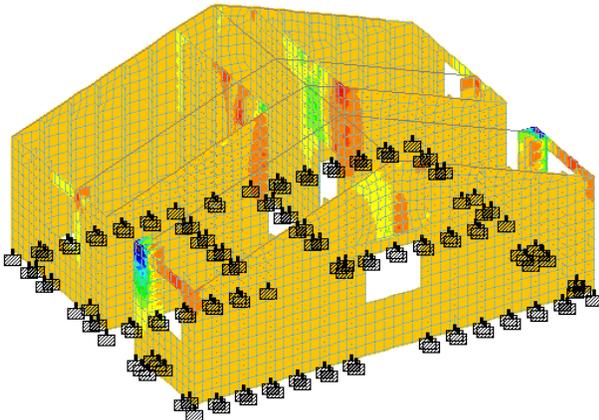


Fig. 7 Concentración de Fuerza (momento flector) vista 3D.

La mayor concentración de momento flector se genera en uno de los elementos frontales de la estructura, tal como se observa en la Fig. 8.

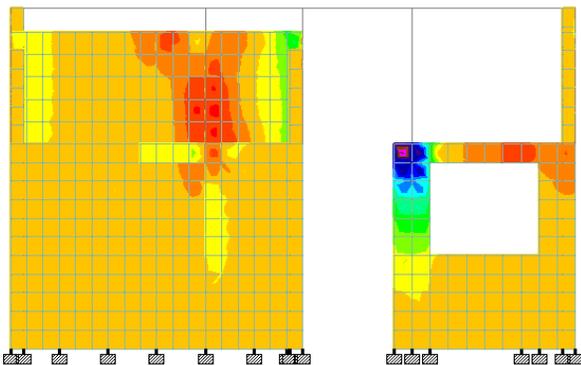


Fig. 8 Concentración de fuerza (momento flector) vista frontal.

El momento flector del ferrocemento se define con (3):

$$\emptyset Mn = (As)(Fy) \times (d - a/2) \quad (3)$$

Donde:

- ✓ d = 1.25 cm,
- ✓ a = bloque a compresión de la sección de ferrocemento expresada con (4)

$$a = (As \times fy) / (0.85 \times f'c \times b) \quad (4)$$

Donde:

- ✓ As: área del acero calculado en 1m de panel de ferrocemento; varilla ¼"
- ✓ Fy: resistencia del acero grado 40; 2,800 kgf/cm²
- ✓ F'c: resistencia a la compresión del panel ferrocemento: 254.93kgf/cm²
- ✓ b: ancho de panel analizado: 100 cm.

En función de lo anterior, con el apoyo de (4) se realiza el cálculo correspondiente para generar la variable "a", y por consecuencia, finalmente la resistencia a flexión del panel de ferrocemento.

$$a = \frac{2.2169 \text{ cm} \cdot 2800 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{0.85 \cdot 254.93 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot 100 \text{ cm}} = 0.2865 \text{ cm}$$

El momento flector resistente del panel de ferrocemento se calcula de la siguiente manera utilizando (3):

$$Mn = 0.9 \cdot 2.2169 \text{ cm} \cdot 2800 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \left(1.25 \text{ cm} - \frac{0.2865}{2}\right) = 61.83 \text{ kgf} \cdot \text{m/m} = 0.61 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

En programa STAAD.Pro brinda la ayuda de presentar el valor del momento flector máximo generado en uno de los paneles más críticos de la estructura, tal como se puede observar en la Fig. 9.

Plate No : 520

Load List : 12:1.4D+1.7L

Plate Center Stresses			
SQX (local) kN/m ²	SQY (local) kN/m ²	SX (local) kN/m ²	SY (local) kN/m ²
-909.547	-327.013	1347.31	33.081
SXY (local) kN/m ²	MX (local) kN-m/m	MY (local) kN-m/m	MXY (local) kN-m/m
125.114	-0.349146	-0.398363	-0.672176

Fig. 9 Momento flector máximo en la estructura.

Tomando como base Fig. 9 donde se muestra el momento predominante máximo de $M_y = -0.39 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$, se hace una revisión comparando los momentos de flexión a través de (5):

$$0.39 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \leq 0.61 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \quad (5)$$

Y en función de esta validación, se confirma que el resultado obtenido indica que la estructura cumple con el requisito de momento flector, dado que la sollicitación de momento flector se encuentra por debajo de la resistencia permisible según normativa.

En síntesis, los paneles de ferrocemento se modelan como secciones homogéneas donde el refuerzo (malla + varilla) se distribuye sobre un espesor de 25 mm; la hipótesis de Bernoulli–Navier (planos que permanecen planos) se mantiene válida dada la elevada relación E_s/E_m . A diferencia del bloque de concreto hueco, la compacidad de la matriz y la continuidad del refuerzo confieren al ferrocemento un comportamiento relativamente isotrópico que permite movilizar esfuerzos de membrana y limitar grietas de tracción [16].

G. Caracterización Experimental, Parámetros de Modelado, Sensibilidad e Implicaciones Constructivas

Ensayos de flexión a cuatro puntos en paneles de $50 \times 210 \text{ cm}$ reportan módulos de elasticidad de 20–23 GPa y resistencias últimas de 0.55–0.70 kN·m/m para relaciones agua/cemento ≤ 0.45 [17]. Estos datos sustentan el valor de $f'_c = 254.93 \text{ kgf/cm}^2$ empleado en el modelo numérico.

Se adoptó $\phi = 0.90$ (ACI 318-19; 19.2.4) para flexión de elementos no pretensados [15]. Un análisis paramétrico mostró que reducir el área de acero A_s en 15 % disminuiría ϕM_n solo 9 %, lo que evidencia la elevada eficiencia de la malla distribuida. Variar el espesor del panel $\pm 3 \text{ mm}$ afecta el momento resistente $\pm 7 \%$.

Un muro de bloque de 100 mm reforzado cada 0.40 m presenta una rigidez a flexión EI 30 % menor que el panel de ferrocemento equivalente, esto debido a un alto módulo E_m y continuidad del refuerzo superficial. Por tal razón, se reduce la deriva lateral de la vivienda en 18 % bajo carga de viento de diseño, mejorando el desempeño sísmico (modo traslacional fundamental más rígido) [18].

La prefabricación de paneles permite controlar tolerancias de $\pm 2 \text{ mm}$ en espesor, mientras que los ensayos “pull-off” in-situ aseguran la adherencia mortero-malla. El recubrimiento con lechada polimérica mejora la vida útil en ambientes tropicales al disminuir la penetración de cloruros en 42 % respecto a mortero convencional [19].

V. DISCUSIÓN

A. Síntesis de Hallazgos Económicos y Estructurales

El análisis comparativo evidenció que la tipología con paneles de ferrocemento reduce el costo directo de obra gris en 30.80 % respecto a la vivienda convencional de bloque de

100 mm, manteniendo superficie y funcionalidad habitacional. Esta economía proviene de:

- ✓ la prefabricación de paneles (menor tiempo de ejecución $\approx -22 \%$),
- ✓ la reducción de partidas de concreto armado (castillos, soleras, cargadores), y
- ✓ el menor volumen de mortero requerido (-58% de cemento Portland).

En el plano estructural, las simulaciones estáticas lineales mostraron que los paneles cumplen holgadamente los criterios de cortante y flexión del ACI 549R-97 con factores de reserva de 1,21 y 1,56, respectivamente, bajo las combinaciones de carga del CHOC-08. Estos márgenes confirman la viabilidad del sistema para resistir las acciones gravitacionales y laterales ordinarias en zonas sísmicas de intensidad moderada.

B. Implicaciones Territoriales de Honduras: Clima, Topografía y Cimentación

A diferencia de los bloques huecos, los paneles de ferrocemento presentan masa reducida (densidad $\approx 19 \text{ kN/m}^3$) que se traduce en menores fuerzas sísmicas, lo cual representa un beneficio crítico en terrenos inclinados de suelos coluviales frecuentes en el corredor centro-occidental de Honduras. La menor carga vertical admite cimentaciones superficiales de menor sección (zapatas corridas de $0.40 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$ frente a $0.60 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}$ de un prototipo convencional), generando ahorros adicionales del 8 % en concreto y acero de fundación.

Desde el punto de vista climático, la conductividad térmica del panel ($\lambda \approx 1,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) puede mitigarse con revestimientos de estuco termo-reflectivo o cámaras de aire en paneles tipo sándwich, mejorando el desempeño higrotérmico sin penalizar la capacidad estructural [20].

C. Marco Metodológico Mixto y Métricas de Desempeño

La estrategia investigativa integró:

- Datos cuantitativos; costos unitarios, métricas R_c , M_n , tiempo de montaje, peso propio.
- Datos cualitativos; percepción de operarios sobre facilidad de armado, inspección de calidad, logística de transporte.

Se definieron tres métricas clave de éxito:

- Costo unitario por m^2 construido,
- Factor de seguridad estructural mínimo ($FS \geq 1.2$)
- Duración de obra (días).

La alternativa ferrocemento superó los tres umbrales:

- Costo; reducción en 30 %,
- $FS \geq 1,5$ y
- Duración; disminución en 22 %.

D. Contribución al Conocimiento y Normativa

Los resultados consolidan evidencia empírica para sustentar la inclusión de un Capítulo de Ferrocemento en la próxima revisión del CHOC-08. Se propone incorporar:

- ✓ Valores de referencia para E_m , G y límites de derivas;
- ✓ Prescripciones mínimas de recubrimiento y galvanizado de mallas en ambiente tropical;
- ✓ Criterios de diseño sismo-resistente, basados en periodos fundamentales y ductilidad global.

Además, servirán de base para guías de vivienda social resiliente y de bajo carbono dentro de programas estatales.

E. Limitaciones y Líneas Futuras de Investigación

- ✓ El estudio se centró en análisis estático; se recomienda análisis dinámico no lineal (pushover) para cuantificar ductilidades y disipación de energía.
- ✓ Se requiere caracterizar la fatiga por ciclos de viento en coberturas livianas y juntas panel-panel.
- ✓ Debe evaluarse la transmisión acústica y el desempeño frente a incendio de paneles de morteros con aditivos.
- ✓ A nivel de cimentaciones, se sugiere investigar la sustitución de zapatas corridas por plateas de ferrocemento y/o losas flotantes en suelos de baja capacidad portante.

VI. CONCLUSIÓN

La presente investigación abordó de forma mixta (cuali-cuantitativa) la factibilidad del ferrocemento como sistema integral de cerramiento portante en vivienda de interés social en Honduras, atendiendo simultáneamente dos ejes críticos de trabajo, (I) costo y (II) desempeño físico-mecánico.

A. Síntesis de los Principales Hallazgos

Variable crítica	Evidencia cuantitativa	Implicación práctica
Costo directo de obra gris	Reducción de 30 % (L.22,944) frente a mampostería confinada de bloque.	Mayor acceso para familias con ingreso mensual menor a 4 salarios mínimos; posibilidad de escalar proyectos estatales de 1000 + viviendas anuales sin elevar presupuesto [21]-[25].
Momento flector	$M_{sol} / \phi M_n = 0.64 \rightarrow$ FS 1.56	Cumplimiento de ACI 549R-97; con margen para eventos sísmicos moderados (Zonas 2 y 3 del CHOC-08).
Cortante	$V_{sol} / V_c = 0.83$	No se requiere refuerzo adicional; simplificación de la malla.
Tiempo de construcción	-22 % frente a método convencional	Menor exposición a riesgo climático durante obra y reducción de costos indirectos.
Impacto ambiental (estimado)	-18 % de CO_2 equivalente por m^2 (reducción de cemento Portland) [21]	Contribución a metas nacionales NDC-2030.

B. Aportes Técnicos, Profesionales y Académicos

- ✓ *Marco normativo*: se propone un esquema preliminar para la consideración de un Capítulo de Ferrocemento dentro del CHOC-08, conteniendo límites de esbeltez, cuantía mínima de refuerzo y verificaciones simplificadas de flexión-cortante para paneles de 20–30 mm.
- ✓ *Metodología replicable*: el protocolo de análisis (AutoCAD \rightarrow STAAD.Pro \rightarrow verificación ACI) provee un flujo de trabajo adaptable a otras tipologías de vivienda y a variaciones climáticas/topográficas.
- ✓ *Base de datos de costos unitarios*: se generaron fichas específicas de panel central y paneles esquineros de ferrocemento, inexistentes en el catálogo del FHIS; y por tal razón se podrían habilitar licitaciones públicas con precios de referencia confiables.

C. Limitaciones Identificadas

- ✓ La campaña numérica fue un análisis elástico-lineal; se recomienda caracterización no lineal cíclica para evaluar rotura progresiva y disipación energética.
- ✓ No se midió el comportamiento higrotérmico “in-situ”; se sugiere instrumentar prototipos piloto para evaluar confort y condensación.
- ✓ La vida útil se proyectó a 50 años, según modelos de difusión de cloruros; se requiere validación acelerada en cámara salina para ambientes costeros.

D. Recomendaciones para Investigación futura

- ✓ *Modelos híbridos*: combinar paneles de ferrocemento con techos de vigueta-bovedilla ligera para maximizar reducción de masa.
- ✓ *Análisis comparativo de cimentaciones*: evaluar plateas de ferrocemento y losas flotantes en suelos de baja capacidad portante.
- ✓ *Escalabilidad industrial*: estudio de líneas de producción estandarizadas y logística de transporte modular para áreas rurales aisladas.

E. Conclusión General

La incorporación de paneles de ferrocemento proporciona una oportunidad tangible para reducir costos, mejorar el desempeño estructural y avanzar hacia una edificación social sostenible en Honduras. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema satisface los requisitos de seguridad estructural, y ofrece importantes ventajas económicas y medioambientales que justifican su adopción en políticas públicas de vivienda.

REFERENCIAS

- [1] H. Wainshtok, Ferrocemento: Diseño y Construcción. Cuba: La Fabrika Comunicacion Integral, 2010.
- [2] American Concrete Institute (ACI-549), Guide for the design, construction, and repair of Ferrocement. 1999.
- [3] Habitat. Para la Humanidad Honduras (HPHH), Política Pública de Vivienda de Interés Social. 2017

- [4] M. Cruz y A. González, *Vivienda Social y Urbanismo Sostenible: Diagnóstico de áreas vulnerables en el trópico latinoamericano*. San Salvador: UCA Editores, 2019.
- [5] R. Martínez y J. Herrera, "Implicaciones topográficas y climáticas en proyectos de vivienda en Centroamérica," *Revista Centroamericana de Ingeniería y Territorio*, vol. 6, no. 2, pp. 45–62, 2020.
- [6] R. Vargas y M. Quiroz, *Materiales y Tecnologías para la Construcción de Viviendas Sostenibles en América Latina*. CEPAL, 2021.
- [7] C. Calderón y J. Pérez, "Costo de materiales y déficit habitacional en Honduras: un análisis estructural," *Revista Ingeniería para el Desarrollo*, vol. 12, no. 1, pp. 45–58, 2022.
- [8] P. Ordóñez et al., "Diseño urbano y vulnerabilidad climática: aproximaciones para proyectos de vivienda social en Centroamérica," *Anuario de Ingeniería y Territorio*, vol. 5, pp. 77–95, 2021.
- [9] D. Mora y A. Gómez, "Aplicaciones del ferrocemento en infraestructura básica y edificaciones: revisión crítica," *Revista de Tecnología y Construcción*, vol. 17, no. 2, pp. 32–49, 2020.
- [10] M. Reyes y S. Delgado, *Ferrocemento: alternativas sostenibles para el hábitat popular*. Bogotá: Ediciones Universidad Nacional, 2018.
- [11] N. Ortega y F. Méndez, "Durabilidad de mallas metálicas en ambientes tropicales: criterios de selección para sistemas de ferrocemento," *Revista de Ingeniería Civil y Ambiente*, vol. 8, no. 1, pp. 21–34, 2021.
- [12] F. Pineda y M. Aguilar, *Estrategias de racionalización constructiva en vivienda de bajo costo*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura, 2019.
- [13] J. Torres y A. Cáceres, "Evaluación comparativa de parámetros estructurales del ferrocemento frente al concreto tradicional," *Boletín Técnico de Ingeniería Estructural*, vol. 14, no. 3, pp. 51–67, 2020.
- [14] J. Malpica, *Comportamiento estructural del ferrocemento en aplicaciones de cerramiento*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
- [15] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 19) and Commentary*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019.
- [16] H. Wainstok, "Flexural behaviour of ferrocement thin panels," *Latin American J. of Construction Materials*, vol. 5, no. 2, pp. 11–22, 2022.
- [17] Y. Fuentes, *Evaluación del sistema residencial de ferrocemento ante cargas de viento y sismo*, Tesis MSc., Univ. Nacional de Colombia, 2010.
- [18] J. Torres and P. Cáceres, "Stiffness comparison of ferrocement and hollow block walls under lateral loading," *Revista Ingeniería Sísmica*, vol. 28, no. 1, pp. 55–70, 2021.
- [19] C. M. R. Hernández, *El Ferrocemento como Alternativa de Construcción Viable*. Tecamachalco, México: Ed. Alfa Omega, 2013.
- [20] R. P. Costa et al., "Evaluación higrotérmica de paneles sándwich de ferrocemento en clima tropical húmedo," *Revista Latinoamericana de Construcción Sostenible*, vol. 4, no. 2, pp. 13–25, 2023.
- [21] Secretaría de Trabajo y Seguridad Social (STSS), "Tabla de Salario Mínimo Vigente a partir del 01 de enero de 2025," Tegucigalpa, 2025. Trabajo Honduras
- [22] LatinAlliance, "Salario mínimo 2025 – Honduras," 27 enero 2025. LatinAlliance
- [23] Programa de Vivienda y Asentamientos Humanos (CONVIVIENDA), *Bono de Vivienda Social: Requisitos y rangos de ingreso (folleto oficial)*, Tegucigalpa, 2024. PVAH
- [24] Instituto Nacional de Estadística (INE), *Encuesta Permanente de Hogares de Propósitos Múltiples – Vivienda y Condiciones de Habitabilidad, junio 2024*, Tegucigalpa, 2024. INE Honduras - Estadísticas Oficiales
- [25] "La construcción de viviendas crece en Honduras; meta 2024," *La Prensa*, 2024. laprensa.hn
- [26] J. Ibarra and E. López, "Life cycle assessment of ferrocement panels for low-income housing," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 18, pp. e00456, 2024.