



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**PANELES DE FERROCEMENTO EN SUSTITUCIÓN DE PAREDES DE BLOQUE Y ELEMENTOS
DE CONCRETO ARMADO PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

PRESENTADO POR:

11551024 JOSÉ JAVIER REYES FAJARDO

11611239 THAMY RITSHELY MELGAR ARGUETA

ASESOR TEMÁTICO: DR. MARCO TULLIO CANALES CHÁVEZ

ASESORA METODOLÓGICA: ING. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVE

CAMPUS TEGUCIGALPA; OCTUBRE, 2020.

RESUMEN EJECUTIVO

La accesibilidad a la vivienda de interés social es uno de los crecientes problemas en América Latina que se ha tratado de solventar a través de los años, para el caso de Honduras por parte del Gobierno Central, empresa privada y organizaciones de desarrollo sin fines de lucro, entre otros. La presente investigación ha consistido en implementar el uso del ferrocemento como material de construcción para viviendas de interés social, sustituyendo las paredes de bloque y elementos de concreto armado por una estructura de ferrocemento, se ha comparado el presupuesto entre una vivienda convencional y una vivienda con paredes de ferrocemento, a lo que se ha añadido el estudio del análisis del desempeño estructural del ferrocemento.

Para el desarrollo de la investigación se ha utilizado el diseño y presupuesto de una vivienda de interés social que ha sido proporcionada por Hábitat para la Humanidad Honduras y se han sustituido en el diseño compartido, las paredes y elementos de concreto armado por una estructura de ferrocemento.

El costo por unidad de la vivienda de interés social convencional ha resultado de ciento noventa y dos mil veintinueve lempiras con diecinueve centavos (L192,029.19), comparado con el presupuesto de una vivienda con paneles de ferrocemento, que ha resultado de ciento ochenta y cuatro mil ochocientos treinta y tres lempiras con treinta y un centavos (L184,833.31) de donde se ha concluido que el ferrocemento constituye una opción viable para reducir los costos por unidad de vivienda de interés social. La vivienda de interés social tiene un área de 143.39 m².

Para el análisis estructural se ha utilizado el programa STAAD.Pro mediante el cual se ha desarrollado un modelo similar al proporcionado por Hábitat Para la Humanidad Honduras, para lo que se han aplicado las cargas reglamentarias descritas en el CHOC-08, lo que ha arrojado como resultado un momento flector de 0.39kN-m/m y una resistencia al cortante de 21.78 kN/m² que han cumplido con los valores mínimos esperados para soportar la carga de la estructuras de techos, por lo que se ha concluido que la vivienda con uso de ferrocemento soportará las combinaciones de cargas para las que normalmente se diseñan los elementos de concreto.

Palabras clave: concreto, costo, diseño, resistencia, vivienda.

ABSTRACT

Accessibility to affordable housing is one of the growing problems in Latin America that has been tried to solved over the years, in the case of Honduras by the Central Government, Private Companies and non-profit development organizations, among others. The present research has consisted of implementing the use of ferrocement as a construction material for low-income housing, substituting block walls and reinforced concrete elements for a ferrocement structure. The budget has been compared between a conventional house and a house with ferrocement walls, to which the study of the analysis of the structural performance of ferrocement has been added.

For the development of the research, the design and budget of a social housing that has been provided by Habitat for Humanity Honduras has been used and the walls and elements of reinforced concrete have been replaced in the shared design by a ferrocement structure.

The cost per unit of conventional low-cost housing has been one hundred and ninety-two thousand and twenty-nine lempiras and nineteen cents (L192,029.19), compared to the budget of a house with ferrocement panels, which has been one hundred eighty-four thousand eight hundred thirty-three lempiras and thirty-one cents (L184,833.31) from which it has been concluded that ferrocement constitutes a viable option to reduce costs per unit of affordable housing. The social interest housing has an area of 143.39 m².

For the structural analysis, the STAAD.Pro program has been used, through which a model similar to that provided by Habitat for Humanity Honduras has been developed, for which the regulatory burdens described in CHOC-08 have been applied, which has yielded as a result, a bending moment of 0.61kN-m / m and a shear resistance of 21.78 kN / m² that have met the minimum values expected to support the load of the roof structures, so it has been concluded that the house using Ferrocement will withstand the load combinations for which concrete elements are normally designed.

Keywords: concrete, cost, design, dwelling, strength

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	1
II. Planteamiento del Problema	2
2.1 Precedentes del Problema.....	2
2.2 Definición del Problema.....	2
2.3 Justificación.....	3
2.4 Preguntas de Investigación.....	3
III. Objetivos.....	3
3.1.1 Objetivo General	3
3.1.2 Objetivos Específicos.....	4
IV. Marco Teórico.....	5
4.1 Sector Vivienda.....	5
4.2 Sector vivienda en América Latina	6
4.2.1 Déficit de Vivienda en Centro América	7
4.3 Sector vivienda en Honduras	8
4.3.1 Viviendas de Interés Social (Programas y Proyectos)	9
4.3.2 Diseño Básico de Vivienda de Interés Social HPHH	10
4.4 Principales materiales utilizados en la construcción de viviendas	12
4.5 Consumo de cemento.....	13
4.5.1 Cemento Portland Adicionado	14
4.5.2 Hormigón.....	14
4.6 El Ferrocemento	14
4.6.1 Reseña Histórica.....	14

4.6.2 Aplicaciones del Ferrocemento	16
4.6.1 El ferrocemento y la Vivienda Social	17
4.6.2 Propiedades Físicas y Mecánicas del Ferrocemento	18
4.6.3 Recomendaciones para el diseño de estructuras de ferrocemento	20
4.6.4 Materiales Componentes del Ferrocemento.....	21
V. Metodología.....	23
5.1 Enfoque	23
5.2 Variables de investigación.....	24
5.2.1 Variables Dependientes.....	24
5.2.2 Variables Independientes	25
5.3 Técnicas e instrumentos aplicados.....	25
5.3.1 STAAD.Pro	25
5.3.2 Excel.....	25
5.3.3 Choc-08.....	26
5.4 Metodología de estudio.....	26
5.4.1 Costos	26
5.4.2 Resistencia.....	26
5.5 Metodología de validación	27
VI. Resultados y Análisis.....	28
6.1 Comparación de Presupuesto de viviendas de interés social.....	28
6.1.1 Diseño geométrico y elección de materiales	28
6.1.2 Presupuesto	29
6.1.3 Resultado de la comparación de costos	32

6.2 Análisis estructural de la vivienda de paneles de ferrocemento	32
6.2.1 Propiedades y modelo de la vivienda de ferrocemento STAAD.Pro.....	33
6.2.2 Cargas reglamentarias aplicadas	34
6.2.3 Verificación de resistencias.....	41
VII. Conclusiones.....	46
VIII. Recomendaciones	48
IX. Bibliografía.....	50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Centro América: Principales actores del sector vivienda	6
Ilustración 2 Vista en Planta de vivienda de interés social, unidad en metros	11
Ilustración 3 Fachada frontal de vivienda de interés social, unidad en metros	12
Ilustración 4 Fachada posterior de vivienda de interés social, unidad en metros	12
Ilustración 5 Edificio prefabricado de ferrocemento para viviendas. Pinar del Río, Cuba.....	15
Ilustración 6. Primera vivienda de ferrocemento construida en pinar del Rio, Cuba.	16
Ilustración 7. Casa construida con paneles de ferrocemento.....	18
Ilustración 8 Diagrama de interacción de variables	24
Ilustración 9 Panel de ferrocemento, unidades en metros.....	28
Ilustración 10 Propiedades del ferrocemento ingresadas en STAAD.Pro	33
Ilustración 11 Propiedades de canaletas	34
Ilustración 12 Vista geométrica del modelo de vivienda en STAAD.Pro	34
Ilustración 13 Peso de lámina de Aluzinc calibre 26.....	35
Ilustración 14 Mapa de Zonas Sísmicas	36

Ilustración 15 Velocidad mínima básica del viento, km/h	39
Ilustración 16 Concentración de esfuerzos a cortante vista 3D.....	42
Ilustración 17 Concentración de esfuerzos a cortante vista frontal	42
Ilustración 18 Concentración de Fuerza (momento flector) vista 3D	44
Ilustración 19 Concentración de fuerza (momento flector) vista frontal	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rasgos Predominantes de la producción de algunos materiales en construcción en América Latina.....	13
Tabla 2 Presupuesto de vivienda de interés social convencional	30
Tabla 3 Presupuesto de vivienda de interés social con paneles de ferrocemento.....	31
Tabla 4 Cuadro resumen de costos	32
Tabla 5 propiedades del ferrocemento.....	33
Tabla 6 Cargas vivas mínimas de techo	35
Tabla 7 Factor de zona sísmica Z	36
Tabla 8 Coeficiente del suelo S y parámetros para curvas de espectro	37
Tabla 9 Categoría de ocupación y factores de Importancia	37
Tabla 10 Coeficiente R_w para sistemas estructurales	38
Tabla 11 Presión estática del viento q_s a la altura estándar de 10 metros.....	39
Tabla 12 Coeficiente combinado C_e para altura, exposición y factor de ráfaga.....	40
Tabla 13 Cargas aplicadas en los elementos del techo	40
Tabla 14 Cargas combinadas	41
Tabla 15 Cortante máximo en la estructura	43
Tabla 16 Momento máximo de la estructura.....	45

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Presión de diseño del viento	38
Ecuación 2 Resistencia a cortante	41
Ecuación 3 momento de flexión del ferrocemento	44

LISTA DE SIGLAS

ACI	American Concrete Institute
CHOC	Código Hondureño de la Construcción
HPHH	Hábitat para la Humanidad Honduras
INCAE	Instituto Centroamericano de Administración de Empresas

GLOSARIO

C

Cargas muertas: Carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes.

Cargas vivas: Carga externa movible sobre una estructura que incluye el peso de la misma junto con el mobiliario, equipamiento, personas, etc.

Castillos: Son refuerzos que distribuyen la fuerza del techo, las soleras y, en caso de ser un edificio de diferentes niveles, los pisos a la cimentación. En forma de barras verticales de hormigón, cuentan con una estructura interna de acero de refuerzo.

Código Hondureño de la Construcción 2008: Documento elaborado con el objetivo de mejorar el diseño y construcción de las edificaciones en general, mediante la uniformidad de normas y el cumplimiento de las mismas.

E

Esfuerzo cortante: esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar.

F

Ferrocemento: término que se utiliza para definir un tipo de partícula de hormigón armado, que está formado por una matriz de mortero de arena y cemento hidráulico, reforzada con una armadura subdividida y distribuida en la masa de mortero, la cual posee alta resistencia, compacidad y elasticidad.

Ficha de costos unitarios: es el documento de control interno donde se consigna el consumo de insumos por unidad, así como los costos unitarios por recurso a emplearse. Con la hoja de costos unitaria se valúan los distintos volúmenes de producción.

H

Hormigón Armado: Se denomina Hormigón Armado al producto resultante de la mezcla de un Aglomerante; Arena, Grava o Piedra Machacada (denominados áridos) y Agua el cual contiene en su interior una armadura metálica y trabaja también a la flexión.

J

Jambas: elemento vertical que, a modo de pilar o columna, sostiene un arco o el dintel de una ventana o una puerta.

M

Momento Flector: es una fuerza normalmente medida en una fuerza x longitud, los momentos de flexión ocurren cuando se aplica una fuerza a una distancia dada de un punto de referencia.

S

Solera: son los revestimientos de suelos naturales en los interiores de edificios, constituidos por una capa resistente de hormigón en masa, quedando la superficie a la vista o puede colocarse algún revestimiento para su acabado.

Staad.Pro: es un programa de cálculo de estructuras por elementos finitos, de uso muy intuitivo y con una gran cantidad de opciones y códigos de diseño para el dimensionamiento de todo tipo de estructuras metálicas y de hormigón.

P

Presupuesto: es un plan operaciones y recursos de una empresa, que se formula para lograr en un cierto periodo los objetivos propuestos y se expresa en términos monetarios.

V

Vivienda de interés social: es aquella que se planifica y se desarrolla para garantizar el derecho al hábitat de las familias de menores ingresos, con buenas condiciones para una mejor calidad de vida

I. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo nuevas tecnologías han surgido en el campo de la construcción. En Honduras el sector construcción ha tenido un avance significativo en los últimos años, sin embargo, es necesaria la implementación de nuevas técnicas y materiales innovadores que generen un impacto en los costos y tiempo de los proyectos.

El Ferrocemento es el término que se utiliza para definir un tipo particular de hormigón armado y se forma por una matriz de mortero (cemento hidráulico-arena-agua), reforzada con una armadura dividida y distribuida en el área, embebida en la masa de mortero, la cual posee una resistencia, compacidad y elasticidad que le permite disminuir considerablemente las dimensiones de las secciones transversales de las paredes en un rango de 1.0 a 1.5cm. (Wainshtok, Ferrocemento: diseño y construcción, 2010).

Dado lo anterior se realizará la investigación para demostrar el uso del ferrocemento como una alternativa que sustituya las paredes de bloque y los elementos de concreto armado, se compararán costos de construcción por unidad de vivienda de interés social para ambas soluciones, paredes de bloque con elementos de concreto armado y paredes construidas con paneles de ferrocemento.

También se realizará un modelo de la vivienda para el que se llevará a cabo un análisis estructural utilizando la herramienta STAAD.Pro mediante el que se aplicarán las cargas reglamentarias descritas en el CHOC-08 y se analizarán los resultados obtenidos en el programa: resistencia a cortante y a flexión de los elementos sometidos a las cargas en la comparación con los especificados según ACI-549 (1999) para el ferrocemento.

Como aporte del trabajo de investigación se desarrollarán planos constructivos que serán compartidos con Hábitat para la Humanidad Honduras de manera que la propuesta del uso de las paredes estructurales de ferrocemento sea implementada en las viviendas de interés social con lo que se permitirá mayor acceso a este tipo de vivienda dada la reducción en costos por unidad de vivienda de interés social.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La accesibilidad a la vivienda es un creciente problema en toda América Latina debido a muchos factores dentro de los cuales está la falta de política de vivienda por parte del gobierno central, un alto desempleo, bajos salarios, pocas oportunidades de optar a una vivienda, lo que no significa que no exista oferta de vivienda, sino que es inaccesible para la mayoría de la población uno de los factores que es importante mencionar debido al enfoque que tiene la investigación y que también influye es el alto costo de la vivienda como resultado del costo de los principales materiales de construcción. Es decir, el precio de la vivienda en comparación con el ingreso familiar representa un problema al momento de la adquisición de vivienda propia en función de la oferta de las viviendas construidas por el sector formal.

Con el paso del tiempo nuevas tecnologías han surgido en el sector vivienda, para el caso de Honduras el sector construcción ha tenido un avance significativo en los últimos años, sin embargo, es necesaria la implementación de nuevas técnicas y materiales innovadores que generen un impacto en los costos de los proyectos.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El uso de cemento Portland como material de construcción prevalece en las construcciones del sector vivienda, encontrándose poca evidencia acerca de la implementación del ferrocemento en Honduras como material constructivo para la vivienda social, existiendo documentación más relacionada con su uso para la construcción de tanques para almacenamiento de agua.

El alto costo de la vivienda está directamente relacionado con el uso intensivo de cemento Portland como material de construcción, lo que limita al hondureño en cuanto a las posibilidades de tener acceso a vivienda propia, situación que se ha mantenido a través del tiempo generando un déficit de vivienda propia entre la población.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Es necesario identificar materiales de construcción que reduzcan el costo de la construcción de vivienda de interés social dado el incremento constante de los materiales convencionales utilizados en el sector vivienda, por lo que la presente investigación tiene el propósito de proponer el ferrocemento como una alternativa que disminuya los costos de la vivienda, mediante una comparación de costos de vivienda de interés social con uso de materiales convencionales versus una vivienda con uso de ferrocemento, para propiciar el acceso a vivienda propia para la población hondureña.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué variables, de las involucradas en la construcción de viviendas de interés social resultan más significativas para recomendar el uso de ferrocemento en sustitución de paredes de bloque y elementos de concreto armado?
2. ¿Qué características deben poseer los paneles de ferrocemento para ser utilizados en una vivienda de interés social?
3. ¿Resulta significativa la diferencia entre los costos de una vivienda construida por métodos tradicionales con uso de cemento Portland y una vivienda construida con paneles de ferrocemento?
4. ¿Es posible recomendar la sustitución de las paredes de bloque y elementos de concreto por paneles de ferrocemento para viviendas de interés social?

III. OBJETIVOS

3.1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer el uso de paneles de ferrocemento para la construcción de viviendas de interés social como material sustituto de las paredes de bloque y elementos de concreto armado, mediante una comparación de costos, complementando el estudio con la verificación de las propiedades físicas y mecánicas del ferrocemento como material constructivo.

3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las variables a considerar en el análisis del uso de paneles de ferrocemento para la construcción de viviendas de interés social en sustitución de paredes de bloque y elementos de concreto armado.
2. Identificar las características de los paneles de ferrocemento en función de la distribución de una vivienda de interés social para analizar su uso como material de construcción en viviendas de interés social.
3. Determinar el costo de una vivienda de construcción tradicional con uso de cemento Portland en paredes y elementos de concreto armado y el costo de una vivienda construida con paneles de ferrocemento, con el respectivo análisis estructural del ferrocemento.
4. Determinar, en función de las variables involucradas en el estudio la recomendación del uso de paneles de ferrocemento en sustitución de paredes de bloques y elementos de concreto armado para una vivienda de interés social.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 SECTOR VIVIENDA

“La vivienda es en donde las generaciones sucesivas encuentran refugio para conservar la salud, el desarrollo, socializar, educarse y prepararse para tener una vida adulta plena.” (ONU-HABITAT, 2016, pág. 52)”

La tendencia de la vivienda entrega independencia a las familias y permite a los propietarios desarrollar estrategias para superar la situación de pobreza como subarrendar, desarrollar actividades comerciales o recibir a la familia extendida. Sin embargo, estos beneficios asociados a la propiedad están condicionados al estado físico de la vivienda y el entorno inmediato. (Vergara, 2016, pág. 8)

Camargo y Hurtado (2011) plantean lo siguiente: el acceso a la vivienda no puede concebirse entonces como algo que conduce automáticamente a la superación de la pobreza, pues acceder a una vivienda sin otras condiciones de apoyo o bajo un modelo de política inadecuado, puede ser una fuente de pobreza (por gastos insostenibles).

En contexto, la vivienda ve disminuida su capacidad como activo productivo, perdiendo los beneficios asociados de independencia y seguridad económica, no solo se trata de mantener y cuidar la vivienda, existen problemas que se han identificado tales como el rápido deterioro de los bienes comunes, que requieren una autogestión para esto, entonces, es necesario la gestión de la vivienda como parte de los procesos habitacionales. (Vergara, 2016)

“La vivienda representa más de 70 por ciento del uso del suelo en la mayoría de las ciudades y determina la forma y la densidad urbana, proporcionando también empleo y contribuyendo al crecimiento.” Según los datos de (ONU-HABITAT, 2016)

Como lo indica ONU-HABITAT (2016) : la vivienda ha estado fuera de la agenda del desarrollo desde 1996, por lo que el déficit de vivienda representa un reto difícil de medir, en América Latina la falta en calidad es mucho mayor que la falta en cantidad:61 y 39 por ciento respectivamente. El déficit de vivienda representa un reto, en 2010, alrededor de 980 millones de hogares urbanos carecían de una vivienda decente, así como lo harán otros 600 millones entre 2010 y 2030.

4.2 SECTOR VIVIENDA EN AMÉRICA LATINA

De acuerdo con el informe actualizado por (Ministerio de Fomento, 2016) entre 1960 y 1999 el mundo pasó de 3,000 millones de habitantes a 6,000 millones, representando aproximadamente un 8 por ciento del total de la población mundial y creciendo de 240 millones de habitantes en 1960 a 480 millones en la actualidad.

En la mayoría de las regiones de Latinoamérica, la proporción de hogares pobres es hoy más alta que en los años setenta. En la actualidad, una de cada tres familias de América Latina y el Caribe, habita en una vivienda inadecuada o construida con materiales precarios o carentes de servicios básicos. Según se cita en (Ministerio de Fomento, 2016)

En el informe (Ministerio de Fomento, 2016) se detalla que el Banco Mundial, entre sus objetivos para el corto plazo, destaca la posibilidad de comercializar al máximo la vivienda de interés social hasta hacer de ella una mercancía barata que, con medidas adecuadas de financiación, se haga asequible para la mayor parte de la población.

El sector vivienda y la industria de la construcción en Centroamérica es una importante rama de la actividad económica por sus efectos multiplicadores e interrelaciones con otras industrias y comercios que genera empleo y provee ingresos fiscales. Los esfuerzos de los gobiernos centroamericanos para ampliar la participación del sector privado han jugado un papel importante en la expansión del mercado de la vivienda de la región. (INCAE, 2016)

	Sector Gubernamental	Sector Privado	Sector Académico	Organizaciones No Gubernamentales	Sociedad Civil
Costa Rica	MVIAH, FOSAVI, BANHVI, Municipalidades, UNGI	CCC	UCR-PRODUS	HPH, TECHO, FUPROVI, Cooperativas, Fundación Costa Rica-Canadá	ADESCO
El Salvador	VMVDU, FSV, FONAVIPO, BANDESAL, Municipalidades, COMURES	CASALCO	UCA, UES	HPH, TECHO, FUNDASAL, FUSAL, Cooperativas	
Guatemala	CIV, UDEVIPO, SEGEPLAN, CONRED, FHA, FSS, Municipalidades, AGAAL, ANAM	CGC, FHA	CEUR, Universidad de San Carlos	HPH, TECHO, Cooperativas	Asociación para el Desarrollo Integral Guatemalteco – ADIG-CONAPAMG, Movimiento Guatemalteco de Pobladores
Honduras	CONVIVIENDA, SEDIS, IDEACOAS, PROVICSOL, BANHPROVI, Municipalidades, AMHON	CHICO, RAP, FUNDEVI, AHIBA		HPH, TECHO, COHVISOL, REDVISOL, CEPUDO, FEHCOVIL	
Panamá	CONVIVIENDA, Banco Hipotecario Nacional, Municipalidades, AMUPA	PROFINCO, Caja de Ahorros CAPAC, ACOBIR	FOBUR	TECHO, Cooperativas	

Ilustración 1 Centro América: Principales actores del sector vivienda

Fuente: (INCAE, 2016)

4.2.1 DÉFICIT DE VIVIENDA EN CENTRO AMÉRICA

El ejercicio de estimación de déficit de vivienda arroja que en Centro América aproximadamente 1,250,000 viviendas deben ser construidas nuevas (Dato previsto hasta 2016) y 4.3 millones necesitan rehabilitar alguna o varias de sus características, lo cual involucra reparación, renovación con materiales durables o una mayor seguridad en la tenencia de la propiedad. (INCAE, 2016)

Se señala que de las razones que podrían explicar un déficit de vivienda en Centro América dentro de las cuales se encuentra la precaria de los presupuestos públicos centroamericanos que limita la capacidad de los gobiernos para desarrollar la infraestructura de vivienda y para la vivienda, es decir la provisión de servicios públicos conexos. En términos absolutos de acuerdo con (INCAE, 2016) y en este caso siendo de importancia Honduras como país en donde resalta la presente investigación, Honduras requiere alrededor de 126,000 viviendas nuevas y debe mejorar 970,000. (cabe destacar que estos datos se estimaron de acuerdo con las encuestas y censos realizados en el 2013 detallados en el Instituto Nacional de estadística y presentados en el año 2015 por INCAE)

Para enfrentar el déficit de vivienda hay diferentes obstáculos que recopila (INCAE, 2016) que deben de ser atendidos para lograr un mejor funcionamiento del sistema de vivienda en los países dentro de estos obstáculos se hace énfasis en la eficiencia en las operaciones para la construcción y mantenimiento de la viviendas nuevas y existentes que involucra el cuestionamiento de los programas de vivienda. Por lo que en el mismo documento recomienda que para asegurarse de que la nueva inversión se orienta adecuadamente hacia una infraestructura sostenible de vivienda, las autoridades también deben ajustar los incentivos del mercado y reglamentación más allá del simple hecho de permitir la participación del sector privado en calidad de actores del sector.

Sera necesario una revisión de las cadenas de valor a nivel de las industrias relevantes y sus interacciones incluyendo la de los materiales y servicios de construcción, que permitan una reforma de los precios en favor de un uso eficiente de los recursos de modo que el pago sea incidental a la capacidad económica de las familias. (INCAE, 2016)

4.3 SECTOR VIVIENDA EN HONDURAS

En base a las estadísticas y a la redacción de (INCAE, 2016) Honduras es uno de los países de la región con la menor producción bibliográfica en el tema de la vivienda social. El no contar un ente rector que agrupe las diferentes intervenciones a lo largo del tiempo, más allá del periodo del gobierno de turno, no ha generado los incentivos para sistematizar las acciones y resultados en la materia a lo largo del tiempo.

Por otro lado, (Habitat Para la Humanidad Honduras, 2017) detalla que: “la condición de pobreza en el país sigue siendo considerablemente alta, con un ingreso per cápita de los más bajos en Latinoamérica, con graves carencias de empleo e ingresos”.

Los pobres en Honduras representan al 63.8 por ciento de los hogares con un índice de pobreza relativa de 23.8 por ciento y la pobreza extrema del 40 por ciento, también se ven involucrados otros porcentajes que surge de EPHPM (Encuesta Permanente de Hogares de Propósitos Múltiples) es que existen 1,600,851 personas (18.8 por ciento de la población) viviendo con menos de 1 dólar al día. En base a lo expuesto se afirma que un alto porcentaje de la población en situación de pobreza forma parte del conglomerado de población protagonista del déficit habitacional en Honduras. (Habitat Para la Humanidad Honduras, 2017)

La situación ocupacional de las personas con empleo ocurre que se destaca solo un 7.3 por ciento de desempleo abierto, pero también hay un 55.2 por ciento de subempleo porcentaje que sobresa entre los más altos de Latinoamérica, este problema ocasiona que la mayor parte de las familias se encuentren en situaciones que no les permite asumir los compromisos de adquirir un terreno y construir o bien, adquirir una vivienda ya construida. (Habitat Para la Humanidad Honduras, 2017)

De acuerdo con (Habitat Para la Humanidad Honduras, 2017): Honduras es un país primordialmente importador sufre el incremento en los precios de una gran cantidad de productos y materiales de construcción, ya que en esas importaciones se carga la inflación del país de origen más la interna, combinado con el impacto de la devaluación.

4.3.1 VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL (PROGRAMAS Y PROYECTOS)

Debido al déficit de vivienda existente en Honduras, tanto el gobierno como la empresa privada han generado programas que benefician a aquellos hondureños que no cuentan con una vivienda digna. La Comisión Nacional de Vivienda y Asentamiento Humano (CONVIVIENDA) es el ente rector en el tema de la vivienda desde el año 2014, cuya función es coordinar y evaluar los diferentes programas, tanto de entidades públicas como privadas para la solución de déficit habitacional. (INCAE, 2016)

CONVIVIENDA se creó con el objetivo de resolver en un contexto general los principales problemas sociales que enfrenta la población el tema de vivienda social, el cual representa un tema de urgente necesidad a solventar mediante la utilización de recursos humanos y financieros del país. (CONVIVIENDA, 2014)

FUNDEVI es una fundación privada de interés social sin fines de lucro que proporciona financiamiento y asistencia técnica constructiva para vivienda de familias de bajos ingresos. FUNDEVI maneja proyectos urbanísticos pequeños de 20 a 30 viviendas y cuenta con un departamento de ingeniería que le da seguimiento a la calidad de las obras. (FUNDEVI, 2001)

REDVISOL es una Red de Entidades Desarrolladoras de Vivienda Solidaria, entre las más fuertes se encuentra Hábitat para la Humanidad, el programa de Vivienda Solidaria. Fuera de la red, se encuentran también desarrolladoras como CEPUDO, asociación sin fines de lucro que canaliza fondos de la organización, quienes han tenido un gran impacto en el territorio. (INCAE, 2016)

Otros actores importantes en el apoyo de resolución de conflictos y generación de una política pública de vivienda son, Asociación de Municipios de Honduras (AMHON), la Federación de Cooperativas de Crédito (FACACH), la Cámara Hondureña de la Industria de la Construcción (CHICO); gremios como el Colegio de Arquitectos de Honduras (CAH), Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH) y FEHCOVIL que es la Federación Hondureña de Cooperativas de vivienda, fundada en 1963, aglutina a empresas cooperativas de vivienda sin fines de lucro y que mediante la cooperación organizada, se dedica a apoyar la solución de problemas habitacionales en el país . (INCAE, 2016)

4.3.1.1 Hábitat para la Humanidad Honduras (HPHH)

Hábitat para la Humanidad Honduras (2017) habla sobre el panorama actual de la vivienda en el país, recalcando un tema importante que es el impacto en el déficit habitacional y ejemplificando los puntos abordados que impactan en este tema: el cese de la cooperación externa, la situación socioeconómica de las familias, la pérdida de los ejidos municipales y, de modo especial, el precio de la tierra, haciendo más severo el déficit habitacional. Al no haber estudios que den cifras precisas del déficit de vivienda, se recurre a formular estimaciones con base al Censo Nacional de población y vivienda más próximo, que en este caso es el del año 2013.

Hábitat para la Humanidad Honduras (2017) estima que el déficit habitacional total es 1,138,018 unidades, representativo del 60.5 por ciento del inventario nacional de vivienda.

Hábitat para la Humanidad Honduras es una Asociación Civil privada de desarrollo, sin fines de lucro, apolítica, no gubernamental, de naturaleza cristiana, y con patrimonio propio. HPHH ha apoyado a más de 29,539 familias hondureñas en la construcción o mejoramiento de su vivienda, beneficiando a más de 250 mil hondureños. (Hábitat Para la Humanidad Honduras, 2017)

En enero del 2017 en la municipalidad de Cabañas, La Paz, Honduras se formalizó la cooperación técnica y financiera la cual sirvió de base para promover la definición y aprobación de política municipal de vivienda de interés social en dicho municipio, tratando de incorporar personas y familias de todos los estratos socioeconómicos especialmente en la población en condiciones de pobreza, riesgo y vulnerabilidad. (Hábitat Para la Humanidad Honduras, 2017)

De acuerdo con lo especificado por HPHH se llegó a un acuerdo con la municipalidad de Cabañas, La Paz en el cual se facilitaron diferentes documentos involucrando planos constructivos de las viviendas de interés social cuyo propósito de mención es hacer referencia a la utilización de los planos constructivos durante la investigación.

4.3.2 DISEÑO BÁSICO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL HPHH

Pérez (2016) menciona lo siguiente: La vivienda de interés social constituye uno de los ejes más importante en la planificación urbana; una vivienda adecuadamente diseñada en función de las características, necesidades y expectativas de los usuarios, su entorno y la relación con la ciudad.

Sin embargo, los modelos para la gestión de la vivienda de interés social que han predominado en América Latina durante las últimas décadas generan soluciones orientadas hacia los aspectos cuantitativos, mientras que la calidad, es subvalorada.

El diseño de la vivienda social en Honduras consta de una distribución sencilla: dos habitaciones, una sala/cocina y un baño o letrina. Para la construcción de una vivienda se deben de tomar diferentes consideraciones: elección del lugar de construcción y evaluación de riesgo, tener en cuenta los servicios básicos, considerar la calidad de los materiales a utilizar, contar con las herramientas necesarias para la construcción y tener en mente la seguridad, el cuidado y manejo de los materiales. (BID, 2019)

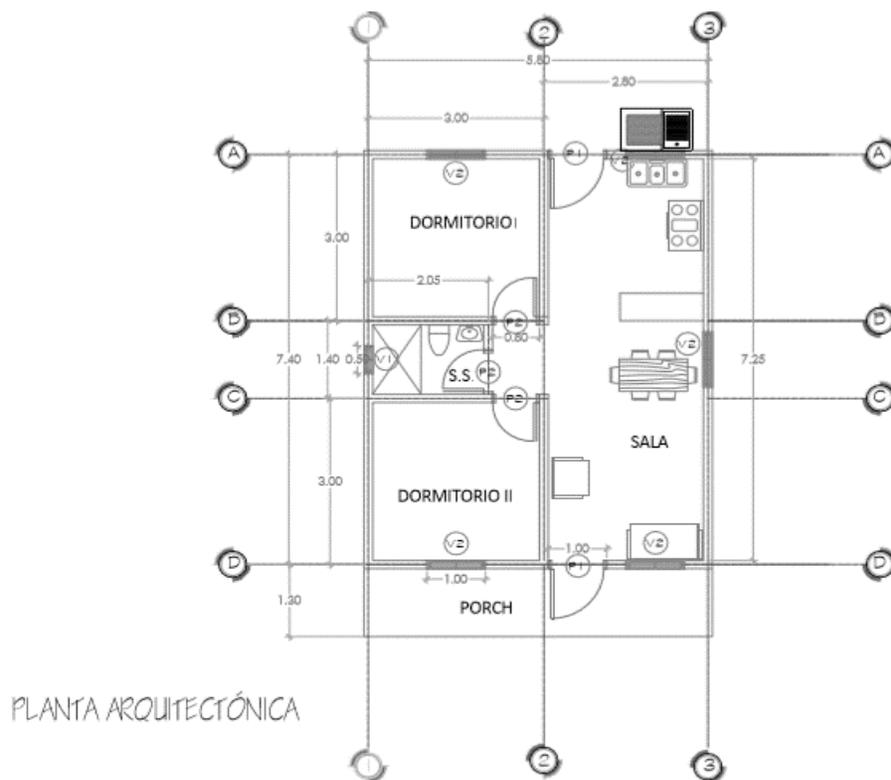
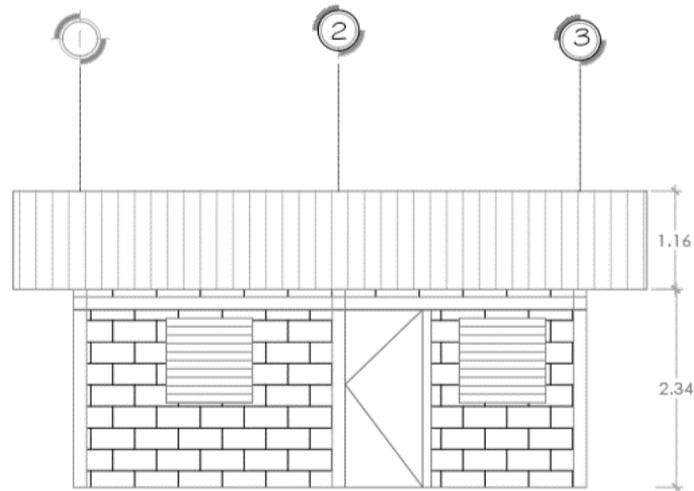


Ilustración 2 Vista en Planta de vivienda de interés social, unidad en metros

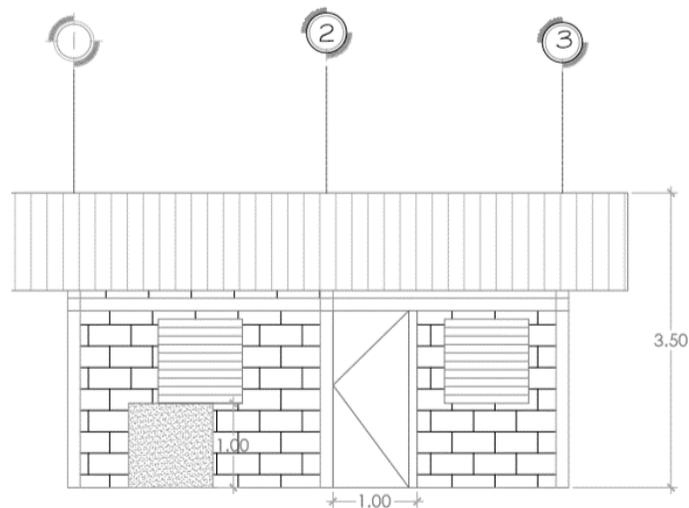
Fuente: (Hábitat Para la Humanidad Honduras, 2017)



FACHADA FRONTAL

Ilustración 3 Fachada frontal de vivienda de interés social, unidad en metros

Fuente: (Hábitat Para la Humanidad Honduras, 2017)



FACHADA POSTERIOR

Ilustración 4 Fachada posterior de vivienda de interés social, unidad en metros

Fuente: (Hábitat Para la Humanidad Honduras, 2017)

4.4 PRINCIPALES MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS

“Los materiales deben ser de buena calidad, para garantizar la adecuada resistencia y capacidad de la estructura” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011)

Toda obra de arquitectura o urbanismo responde a un propósito determinado. Para que ésta sea sostenible debe de tener en cuenta la escogencia adecuada de los materiales que garanticen un debido aislamiento acústico y térmico, que les permita a los habitantes de la vivienda establecer relaciones armónicas con los demás, también se debe de tener en cuenta que, la selección de los materiales y el sistema constructivo deben responder a la identidad y la cultura de la región donde se desarrolla la obra. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011)

Según su uso, los materiales de construcción se clasifican en: materiales principales, materiales aglomerantes y auxiliares. Los materiales principales son los que se emplean de modo predominante en las partes resistentes de la construcción y son piedras, ladrillos, concretos, madera y metales. Los aglomerantes son los que sirven para unir entre si los materiales principales; cemento, yeso y cal. Los auxiliares son los empleados en el acabado final de la construcción, tales como vidrio, pintura, etc. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011)

Tabla 1 Rasgos Predominantes de la producción de algunos materiales en construcción en América Latina

TIPO DE MATERIALES Y PRODUCTOS	ESTRUCTURA SECTORIAL	CARACTERÍSTICAS GENERALES
Aluminio	Monopolio u oligopolio concentrado	Grandes Plantas de una o pocas empresas con alta relación capital/producto. Producción Homogénea
Acero		Largo período de maduración de las inversiones
Vidrio		Fuertes barreras técnicas y económicas para la entrada de nuevas empresas
Cemento		Baja sensibilidad de los precios a las variaciones de la demanda. Se responde con cambios en el grado de utilización de la capacidad productiva
Fibrocemento	Oligopolio relativo	Características similares al caso anterior menos acentuadas.
Tubos plásticos		Cierto grado de diferenciación de calidad de los productos
Tableros y planchas de madera		Liderazgo de empresas grandes, con poder para establecer el nivel de precios.
Cerámica	Mercado competitivo con tendencia al oligopolio	Planta de tamaño mediano con relación capital/producto más reducido
Pinturas		Diferencias en calidad de los productos
Elementos de Hormigón		Menores barreras de entrada más dependientes de los canales de comercialización existente
Madera aserrada	Mercado competitivo	Predominio de empresas pequeñas y medianas
Bloques de hormigón		Importantes diferencias de calidad de los productos

Fuente: (Ministerio de Fomento, 2016)

4.5 CONSUMO DE CEMENTO

Pese a la importancia de referir, a efectos de acotar su coste de construcción y nivel de calidad, la “vivienda mínima” al número de salarios mínimos mensuales, se sugiere también, como su patrón de medida más universal y representativo, el precio de mercado del saco de cemento, pues existe

la posibilidad que sea la unidad de referencia más homogénea del sector construcción, de cuyo empleo resultan algunas conclusiones sumamente impactantes. (Ministerio de Fomento, 2016)

El cemento existe y tiene un dilatado futuro asegurado. Sus excelentes características técnicas están fuera de todo cuestionamiento sensato. No hay razón para exclusiones apriorísticas. Sin embargo, en aquellas circunstancias donde la economía y la sensatez técnica lo aconsejen, las soluciones mixtas son viables. (Ministerio de Fomento, 2016)

4.5.1 CEMENTO PORTLAND ADICIONADO

Los cementos adicionados son materiales que incorporan adiciones y que presentan ventajas como la disminución de costos de producción, la mejora de propiedades del hormigón y son materiales ecológicos ya que incorporan sustancias que en su mayoría resultan contaminantes en su estado natural. (Ministerio de Fomento, 2016)

4.5.2 HORMIGÓN

El hormigón tiene como ventaja ante otros materiales en la construcción por su durabilidad y requiere de un mantenimiento mínimo, por otro lado, como mayor desventaja frente a otros materiales es por el costo que representa, y en ocasiones esta desventaja no lo hace competitivo con otros materiales. Estrechamente ligado con este factor, está la no siempre disponibilidad de sus componentes en todas las zonas, en especial el cemento el cual su transporte aumenta los costos. (Ministerio de Fomento, 2016)

4.6 EL FERROCEMENTO

4.6.1 RESEÑA HISTÓRICA

A finales del siglo XIX, Joseph Louis Lambot construye objetos con mortero reforzado con malla de alambre en Miraval, en el sur de Francia. Lambot ve el ferrocemento como material de construcción a ser utilizado como sustituto de la madera en construcciones arquitectónicas, navales y artesanales. Este patenta el nombre de Ferciment (ferrocemento) en el año 1852. (Morgan, 1998, págs. 11-34)

En 1855 uno de los botes construidos por Lambot fue exhibido en la Feria Mundial de Paris; otro fue rescatado del fondo del pequeño lago Mirabal en condiciones relativamente buenas. Este bote, de cerca de 3.60 m de largo y 1.20 m de ancho con espesor del casco entre 2.5 cm y 3.5 cm, se encuentra actualmente en el museo de Brignoles, Francis. (Morgan, 1998, págs. 11-34)



Ilustración 5 Edificio prefabricado de ferrocemento para viviendas. Pinar del Río, Cuba

Fuente: (Wainshtok, Ferrocemento: diseño y construcción, 2010)

A mitad del siglo XIX el ferrocemento es desplazado por el uso del hormigón armado, debido a que la tecnología de esos momentos no ayudó al desarrollo de la producción de mallas de pequeños diámetros, se optó por el uso de varillas de acero de grandes diámetros. Es entonces a principios de la década de 1940 que el Ing. Piel L. Nervi retoma el ferrocemento como material de construcción, realizando estudios de hormigón reforzado con mallas de alambre, arrojando estos estudios resultados impresionantes, donde reconoce que el material tiene un "*comportamiento similar al de un material homogéneo de elevadas resistencias*". Con sus estudios, Nervi llega a la conclusión que este material es altamente flexible, elástico y resistente a la tracción no obstante a estos resultados, el material no fue aceptado como una solución constructiva hasta la década de 1960, cuando se percataron de la durabilidad y buen estado de construcciones realizadas con ferrocemento. (Wainshtok, Ferrocemento: diseño y construcción, 2010)

En 1986 comienza a utilizarse, bajo el mismo plan dirigido por el Dr. Valdez, en Santiago de Cuba el ferrocemento en la construcción de viviendas económicas. En abril se construyó la primera vivienda experimental bajo la dirección técnica de Dr. Ing. Wainshtok el cual se basó en las experiencias del Ing. Alfonso Olver del IPN de Ciudad México. Fue así como se realizaron los

primeros bocetos de lo que sería los primeros componentes de una vivienda y en octubre de ese mismo año el primer pueblo en el plan turístico Baconao de la provincia de Santiago de Cuba, donde se construyeron 42 viviendas de una y dos plantas a orillas de la desembocadura del río Baconao. Esta primera comunidad rural de ferrocemento se construyó en tres meses y aún se conservan en aceptable estado técnico a pesar de los efectos de un medio ambiente agresivo. Esta experiencia positiva se extendió rápidamente a otras provincias del país, en especial a Camagüey, Cienfuegos y Pinar del Río y la Habana donde, con una tecnología industrial se ha aplicado con resultados satisfactorios en la construcción de viviendas de uno y dos niveles. (Wainshtok, Ferrocemento: diseño y construcción, 2010)

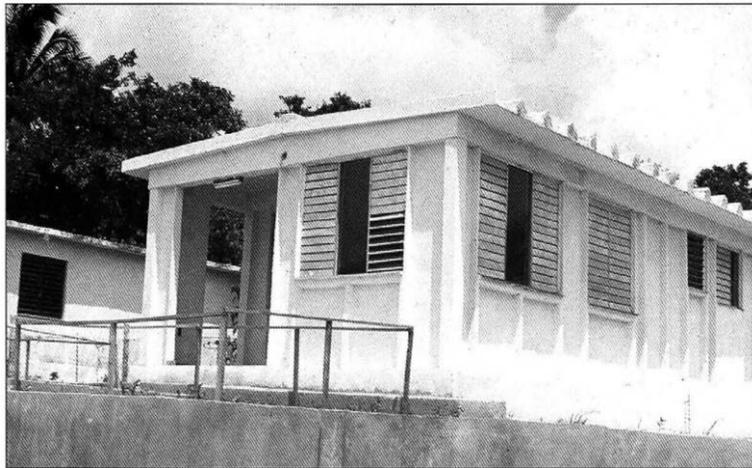


Ilustración 6. Primera vivienda de ferrocemento construida en pinar del Río, Cuba.

Fuente: (Wainshtok, Ferrocemento: diseño y construcción, 2010)

4.6.2 APLICACIONES DEL FERROCEMENTO

El Ferrocemento en Cuba tiene un amplio campo de aplicación que ha permitido su desarrollo y perfeccionamiento tanto en diseño como en ejecución abarcando objetivos económicos de importancia tales como: construcción y reconstrucción de barcos, viviendas, piscinas, canales de riego, silos, depósitos de la industria de la cal, recuperación de tanque metálicos de grandes diámetros con revestimiento interior y esculturas. (Norma Cubana 037-003-07, 2007)

El ferrocemento es una forma de hormigón reforzado que difiere del concreto armado o pretensado convencional, por la forma y organización de los elementos de refuerzo. Consiste en una serie de mallas muy juntas o barras de muy pequeño diámetro completamente envueltas en

la matriz de mortero, generando un material compuesto cuyo comportamiento es distinto al del hormigón armado convencional en resistencia, deformación y aplicaciones. (Olvera, 2002)

El ferrocemento es un material alternativo para la construcción de diferentes tipos de estructuras, en especial de viviendas, que le permiten al hombre imaginar, diseñar y edificar soluciones habitacionales y estructurales resistentes, económicas, en sintonía con el medio ambiente y que proporcionan dignidad a sus habitantes. (Olvera, 2002)

4.6.1 EL FERROCEMENTO Y LA VIVIENDA SOCIAL

Actualmente el mundo de la ingeniería tiene como meta el erradicar las malas y peligrosas construcciones en zonas marginadas con una alta vulnerabilidad a los impactos ambientales. En la mayoría de los países latinoamericanos, estas viviendas se encuentran en zonas de alto riesgo sísmico, y han sido construidas bajo ninguna norma o técnica sismo resistente, volviendo estas construcciones inseguras y vulnerables. Resultado de esto, se hace necesario el utilizar nuevos materiales que proporcionen una solución a la creciente demanda de viviendas de interés social. Estas viviendas deberán ser viables, dignas, resistentes, económicas y sustentables. (Olvera, 2002)

El ferrocemento, al ser un material capaz de ofrecer viviendas durables y de buena calidad, con un sistema constructivo con base a mano de obra no calificada, se convierte en una opción para los países en vías de desarrollo en busca de soluciones a la alta demanda de viviendas de interés social y a la falta de empleo. En los países tercermundistas, donde se ha utilizado el ferrocemento para la construcción de viviendas de interés social, es posible identificar cuatro sistemas constructivos para su fabricación: construcción en sitio, construcción con elementos modulares prefabricados, construcción con paneles prefabricados y construcción de casas móviles. Una vivienda de ferrocemento podrá ser construida en el lugar deseado por el bajo nivel de tecnología. Estos cuatro sistemas poseen un elemento en común denominado panel o muro pared delgada. (Olvera, 2002)

El uso de ferrocemento se puede observar a través de los años en las diferentes aplicaciones en viviendas de interés social, en el archipiélago de Malasia, en las islas de Sumatra, Sri Lanka y Nueva Guinea, la construcción de casa de ferrocemento es observable. Países como México, India,

Tailandia, Cuba, Estados Unidos, Brasil y Colombia, son pioneros en el uso del ferrocemento para construir viviendas de bajo interés social. (Olvera, 2002)



Ilustración 7. Casa construida con paneles de ferrocemento.

Fuente: (ECO SUR, 2015)

4.6.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL FERROCEMENTO

Todos los materiales poseen características que los diferencian de otros, las propiedades mecánicas son las que están relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones. El ferrocemento cuenta con diferentes propiedades mecánicas específicas a continuación:

4.6.2.1 Resistencia a la tracción

La Norma Cubana (Norma Cubana 037-003-07, 2007) menciona que, el ferrocemento tiene mayor resistencia a la tracción que el hormigón y esto se debe a su relativo alto contenido de acero y a la gran dispersión de este. En los elementos de ferrocemento sometidos a esfuerzos de tracción, se ponen de manifiesto tres estados:

- Estado elástico. La curva tensión deformación es prácticamente lineal, no se observan fisuras, el material es prácticamente impermeable. El límite de deformación para este estado está dado por $E = 200 \times 10^{-6}$ y ancho de fisuras hasta 20 micrones.
- Estado elasto - plástico. A partir de la primera fisura, un número significativo de éstas aparecen, crecen muy lentamente al inicio sus aberturas hasta que el número de grietas se

estabiliza. El estado se limita desde la ocurrencia de la primera grieta de 20 hasta una abertura de 100μ y una deformación de $E = 645 \times 10^{-6}$

- Estado de falla. Aparece el número máximo de grietas y el aumento de las deformaciones se debe al incremento de la abertura de estas, hasta la falla del elemento por la ruptura del acero. En los elementos de ferrocemento, pueden presentarse dos tipos de fallas: el primero es la ruptura del elemento y se alcanza la resistencia última; el segundo tiene en cuenta la carga por la cual surge la primera grieta que permite la permeabilidad del agua o la corrosión del acero. Es imprescindible tener en cuenta la superficie específica S , ya que cuando ella aumenta, aumenta la resistencia del ferrocemento al agrietamiento.

4.6.2.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión la aporta el mortero en proporción directa al área de su sección transversal. De acuerdo con los resultados alcanzados en laboratorios en Cuba y criterio de expertos de varios países se fija como valor de resistencia última a compresión del ferrocemento el de $0,45f'_c$ donde f'_c es la resistencia de compresión del mortero. Los valores máximos permisibles de tensiones a compresión serán de 20 Mpa. (Norma Cubana 037-003-07, 2007)

4.6.2.3 Resistencia a la flexión

La resistencia del ferrocemento a flexión depende de la superficie específica y del tipo de malla, su orientación y geometría intrínseca; así como la presencia o no de armadura de esqueleto. En la práctica la resistencia a flexión aumenta cuando las telas de malla se concentran en los bordes inferiores o superiores. (Norma Cubana 037-003-07, 2007)

4.6.2.4 Resistencia al agrietamiento

La resistencia al agrietamiento es el indicador que determina la solidez y la seguridad de las estructuras de ferrocemento garantizándose con un diseño efectivo de las armaduras de esqueleto, capas de telas de malla y su disposición, distancia a los bordes, dosificación del mortero y espesor de los elementos.

El máximo ancho de grietas permisible no debe exceder de 0,05 mm para ambiente corrosivo o depósitos de agua y 0,1 mm para otras estructuras. (Norma Cubana 037-003-07, 2007)

4.6.3 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO

De acuerdo con (Norma Cubana 037-003-07, 2007) se deben de tomar las siguientes consideraciones:

- Utilizar no menos de dos telas de mallas de celdas pequeñas próximas a las caras externas.
- La armadura de esqueleto debe ser preferentemente soldada.
- La dimensión del recubrimiento en los bordes para todos los tipos de armadura debe ser mayor o igual a 5 mm
- Para losas de ferrocemento que se apoyan libremente: los apoyos deben pasar no menos de dos alambres transversales de la malla y la longitud de apoyo de la losa p no será menor de $3t$ o de 40 mm (t = espesor de la losa)
- En los nervios y alas inferiores de las vigas simplemente apoyadas, las barras en tracción de la armadura longitudinal (anclaje) deben introducirse al eje de apoyo en no menos de 10 d.
- En todas las estructuras se recomienda prolongar las barras en compresión y tracción de la armadura longitudinal desde donde ellas se calculan con la resistencia total, en no menos de un valor de $20d$, para los morteros de 30 MPa o superiores y un valor de 25, para morteros de 20-30 MPa.
- Si las mallas terminan en tracción en un tramo, estas deben ser colocadas a partir de la sección donde el cálculo las hace necesarias, 2 mallas para las soldadas y 3 mallas para las tejidas.
- Si fuera necesario reforzar el anclaje individual de la armadura longitudinal de las barras se les soldarán perfiles cortos de armadura o piezas insertadas.
- En las armaduras longitudinales no es recomendable utilizar empalmes.
- En las mallas que trabajan a tracción, en el sentido de trabajo deben tener una longitud de solape en las telas de mallas tejidas no menor de 100 mm y comprenderá no menos de 6 mallas; en las soldadas no menos de 60 mm y comprende cuatro mallas como mínimo. Si las telas de mallas están en compresión será de 50 y 30 mm respectivamente.
- El número de telas de mallas solapadas o empalmadas no debe constituir más del 50% de la sección total de las telas en tracción. Si ocurre, se realizarán empalmes de forma alterna.

- Los elementos portantes prefabricados de ferrocemento deben ser continuos a todo lo largo. No se recomienda dividir los elementos en tracción y en flexión mediante el empleo de juntas transversales.

4.6.4 MATERIALES COMPONENTES DEL FERROCEMENTO

Los materiales utilizados para la elaboración del ferrocemento deben ser de buena calidad y previamente seleccionados. Cumpliendo con los requisitos respectivos, para que pueda generar un buen trabajo.

4.6.4.1 Acero de refuerzo

El acero en el ferrocemento se puede presentar de dos formas: las barras de acero para formar el esqueleto, debe cumplir con la Norma ASTM-615, no deben llevar oxido, escamas u otras sustancias perjudiciales. Luego viene la malla la cual se encarga de darle forma y que mantenga su estructura, se encarga de soportar el mortero en estado fresco, y absorbe los esfuerzos de tensión que el mortero por sí solo no podría resistir en estado sólido ya que este tiene una baja resistencia a la tensión; debe cumplir la Norma ASTM A-185.

Existe una amplia variedad de mallas usadas en el ferrocemento: malla cuadrada soldada, cuadrada tejida, cuadrada electro soldada, de metal expandido y hexagonal (malla de gallinero), la última es la más utilizada por ser la más económica y fácil de manipular.

4.6.4.2 Cemento

Actualmente, el cemento se puede pedir con ciertas características especiales, según se requiera para el tipo de construcción. El más usado para el ferrocemento es el cemento Portland, con el propósito de obtener estructuras con resistencia a la compresión, dureza, impermeabilidad, resistencia al ataque químico, consistencia uniforme, libre de materia extraña y terrones; debe cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM C-150 para cemento Portland. Existe una clasificación para este tipo de cemento, como se indica a continuación:

Los tipos de cemento Portland adecuados para la construcción de ferrocemento son el cemento tipo I y II. El tipo I se usa para estructuras de ferrocemento generales, donde no se requieren de propiedades especiales; el tipo II se usa cuando se desea alcanzar una resistencia final más alta, a

costa de perder resistencia inicial y logrando una estructura más densa. El cemento Portland tipo II es de endurecimiento rápido adquiere su resistencia más rápidamente y se elige cuando se requiere de una resistencia inicial muy alta. El cemento Portland tipo V se recomienda, principalmente para construcciones con ferrocemento en ambientes marinos y en estructuras susceptibles al ataque de los sulfatos, tienen un tiempo de fraguado promedio y por lo tanto no presionara al constructor para apresurar la obra durante la colocación del mortero. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2013)

4.6.4.3 Agregados

En el ferrocemento se usa el agregado fino, la arena debe ser de grano duro y libre de arcilla, limo, alcaliza, debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas, y debe cumplir con las características requeridas de la Norma ASTM C-33. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2013)

4.6.4.4 Agua

El agua utilizada para la mezcla de mortero y curado del ferrocemento debe ser libre de impurezas, libre de basura, no usar agua de mar, ya que puede alterar la composición mecánica y química del mortero, tanto fresco como endurecido; por ello debe usarse agua potable. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2013)

4.6.4.5 Mortero

Es una mezcla de cemento, arena, agua y algunas veces aditivos para mejorar las propiedades de la mezcla; este debe ser trabajable, tener buena consistencia. Para que el ferrocemento ya terminado no pierda sus propiedades, se debe considerar la mayor resistencia a la compresión, una buena impermeabilidad, resistencia a agentes químicos y factores externos. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2013)

V. METODOLOGÍA

5.1 ENFOQUE

En la presente investigación se hace una propuesta para el diseño de una vivienda de interés social implementando el ferrocemento como material estructural para realizar una comparativa de costos con una vivienda de interés social compuesta por materiales convencionales. Cabe destacar que la vivienda de interés social con ferrocemento estará basada en el diseño de una vivienda de interés social con materiales convencionales compartida por Hábitat para la Humanidad Honduras para este fin.

El enfoque metodológico tiene dos criterios, uno comparativo y el otro en función del desempeño del ferrocemento como material constructivo. El primer criterio está basado en la comparación de costos, la cual se desarrollará mediante el presupuesto para la obra gris de una vivienda de interés social, para lo que se considerarán fichas de costos unitarios con precios actuales de pared de bloque, soleras, castillos, jambas y cargadores, consistentemente se utilizarán fichas de costos unitarios de paneles de ferrocemento, tanto para paredes laterales como para las esquinas o ángulos rectos de la vivienda, con una mejora adicional en costos por unidad de vivienda de interés social, haciendo la aclaración de que el resto de actividades no se consideran debido a que son comunes para ambas soluciones.

El segundo criterio está basado específicamente en el desempeño estructural del ferrocemento, para lo que se diseñará una vivienda utilizando el ferrocemento como estructura que soporta los techos, mediante el programa AutoCAD. A partir de este diseño se realizará el modelo en el programa estructural STAAD.Pro para comprobar el cumplimiento de la capacidad resistente en cuanto a flexión, cortante y tensión-compresión.

El enfoque de la investigación es mixto, cualitativo debido a la utilización de información recolectada acerca de las propiedades del ferrocemento y cuantitativo en función del cálculo de cantidades de obra y fichas de costos unitarios para la construcción de presupuestos para ambas propuestas, utilizando AutoCAD, STAAD.Pro y las especificaciones que establece el ACI-549 (1999) y el CHOC-08.

5.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables a considerar en la investigación se basan en lo que se analizará por lo que tienen un enfoque en cuanto al costo y a la resistencia de la vivienda de interés social.

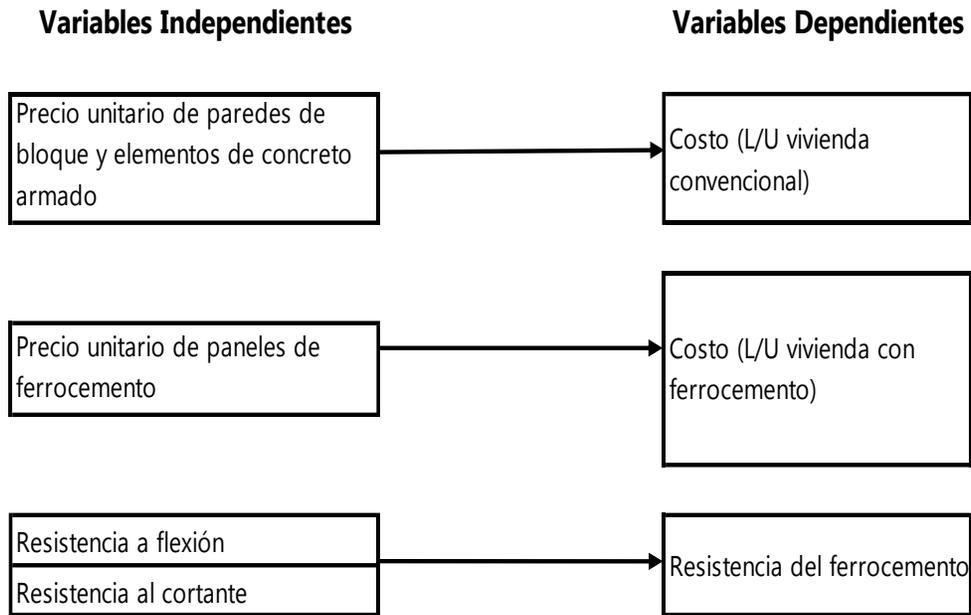


Ilustración 8 Diagrama de interacción de variables

Fuente: Elaboración propia

5.2.1 VARIABLES DEPENDIENTES

- **Costo (L/U vivienda convencional):** los costos directos dependerán de los materiales, mano de obra, herramienta y equipo necesarios para ejecutar cada una de las actividades, calculados a través de las fichas de costos unitarios para cada tipo de vivienda.
- **Costo (L/U vivienda con paneles de ferrocemento):** los costos directos dependerán de los materiales, mano de obra, herramienta y equipo necesarios para ejecutar cada una de las actividades, calculados a través de las fichas de costos unitarios para cada tipo de vivienda.
- **Resistencia:** la resistencia se obtendrá como resultado del modelo de la vivienda con elementos de ferrocemento a través del programa estructural STAAD.Pro en el cual se analizará por medio de cortante y flexión.

5.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

- **Fichas de costos unitarios de pared de bloque y elementos de concreto armado:** Debido a que HPHH proporcionó el presupuesto de una vivienda de interés social, se conocen directamente los precios unitarios de cada actividad realizada.
- **Fichas de costos unitarios de paneles de ferrocemento:** los materiales involucrados en la vivienda de interés social convencional se mantienen constantes a excepción de una cantidad de obra gris en este caso paredes, y elementos de concreto armado por lo que es necesario realizar fichas de costos de paneles de ferrocemento.
- **Resistencia a flexión del ferrocemento:** Se hará una comparación de resistencias de acuerdo con la resistencia a flexión del ferrocemento contra la resistencia a flexión de los elementos expuestos a cargas reglamentarias, para verificar que no exceda el límite.
- **Resistencia al cortante del ferrocemento:** Se hará una comparación de resistencias de acuerdo con la resistencia al cortante del ferrocemento contra la resistencia al cortante de los elementos expuestos a cargas reglamentarias, para verificar que no exceda el límite.

5.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Las técnicas e instrumentos aplicados representan un valor significativo para la investigación debido a que los resultados del proyecto dependen de las técnicas e instrumentos aplicados.

5.3.1 STAAD.PRO

Software de diseño estructural utilizado para modelar el diseño de una vivienda de interés social y verificar el cumplimiento de los esfuerzos generados por las cargas aplicadas.

5.3.2 EXCEL

Software de hojas de cálculo utilizado para elaborar las fichas unitarias y compara los costos totales entre los dos modelos de vivienda.

5.3.3 CHOC-08

Código hondureño de la construcción utilizado para la consideración de las cargas reglamentarias aplicadas en el diseño aproximado de la vivienda de interés social.

5.4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La investigación basa su recorrido en dos aspectos fundamentales que se pueden resumir en costos y resistencia de los paneles de ferrocemento.

Para el análisis de costos se utiliza la herramienta Excel siendo una hoja de cálculos en donde se pueden elaborar tanto las fichas de costos unitario como el presupuesto total de cada vivienda.

La resistencia de la estructura de paneles de ferrocemento se verificará utilizando la herramienta STAAD.Pro, un programa en donde se modelará la vivienda de paneles de ferrocemento y se aplicaran las cargas reglamentarias que establece el CHOC.

5.4.1 COSTOS

- Realizar una estimación de las cantidades, rendimiento y desperdicio además de determinar los precios de compra en el mercado.
- Elaborar una lista de actividades donde se describan a detalle los materiales utilizados para llevar a cabo la obra.
- Evaluar los costos totales generados de las fichas de costo unitarias.
- Hacer una comparativa de costos entre ambos modelos de vivienda de interés social.

5.4.2 RESISTENCIA

- Elaborar un plano tipo sustituyendo elementos construidos con ferrocemento en base a un plano de vivienda social convencional proporcionado por HPHH.
- Ingresar el modelo al programa STAAD.Pro.
- Ejecutar el programa STAAD.Pro aplicando las cargas reglamentarias que establece el CHOC-08.
- Recopilar los datos obtenidos del programa STAAD.Pro para cada uno de los modelos.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos con los establecidos.

5.5 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Los resultados presentados en esta investigación se enfocan en la validación del diseño estructural con ferrocemento con el fin de que este sea apropiado y así hacer una comparativa correcta entre ambos diseños de vivienda de interés social en cuanto a costos.

Para la validación de los resultados se trabajó de manera indirecta con proyectos similares realizados anteriormente en otros países, cuyo asesor es el Dr. ing. Hugo Wainshtok Rivas autor del libro "ferrocemento: Diseño y Construcción" y que tiene gran trayectoria trabajando con ferrocemento.

El ACI-549-1999 describe la tecnología del ferrocemento con telas de mallas de alambre y armaduras de esqueleto, además cuenta con diferentes técnicas aplicadas en los materiales que esta tecnología aplica, es por ello la necesaria mención de las normas para la validación de la investigación al momento de la comparación de ambos métodos de construcción de viviendas de interés social.

Se hizo la comparación de viviendas de interés social: una con materiales convencionales y otra con paneles de ferrocemento basado en el análisis de costos de cada una mediante la elaboración de fichas unitarias de costo y la comparación entre presupuesto total de cada vivienda.

Se hizo el modelo de la vivienda en STAAD.Pro para la verificación de su cumplimiento estructural.

La verificación del cumplimiento de la estructura se hizo con base en lo establecido por el ACI-549-1999.

VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como se menciona anteriormente, los resultados y análisis están enfocados en los principales componentes de la investigación; costo de vivienda con paneles de ferrocemento y análisis de la resistencia estructural de la vivienda.

6.1 COMPARACIÓN DE PRESUPUESTO DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Para la comparación de presupuestos se proporcionó el presupuesto de la vivienda de interés social convencional por Hábitat para la Humanidad Honduras y se realizaron fichas de costo correspondientes al material sustituyente, es decir, el ferrocemento.

La comparación de presupuestos está basada en la obra gris de la estructura, los cambios más significativos se encuentran dentro de la obra gris.

6.1.1 DISEÑO GEOMÉTRICO Y ELECCIÓN DE MATERIALES

Para el diseño de los paneles de ferrocemento se consideraron distintos aspectos: como el espesor promedio de paneles, longitud común más utilizada y una sección del perfil en tipo u. Teniendo como espesor 2.5 cm, un ancho de 50 cm, y aletas de 13 cm. Se consideró una altura de 210 cm.

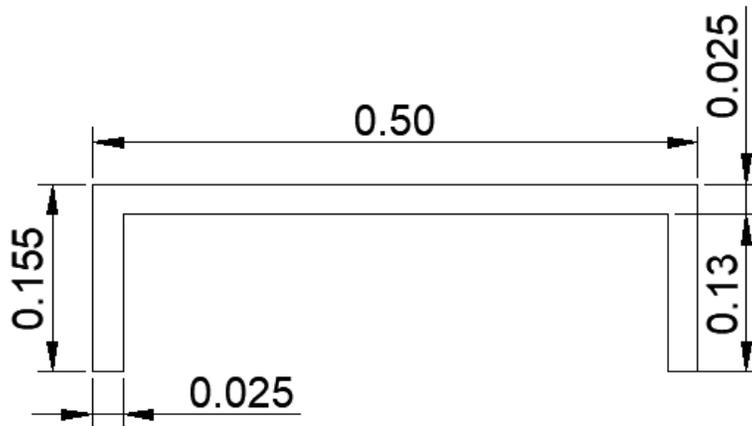


Ilustración 9 Panel de ferrocemento, unidades en metros.

Fuente: Elaboración propia

6.1.1.1 Malla hexagonal o malla de gallinero

Para la malla de gallinero se realizó una cotización en el mercado de las diferentes alturas comerciales se decidió utilizar malla de gallinero de 7 pies debido a que coincide con la altura del panel y es la opción más viable en aspectos económicos, por lo que resulta como ventaja al momento de la comparación de presupuestos.

6.1.1.2 Varilla de hierro liso

Se optó por utilizar varilla de hierro lisa de ¼" debido a que es el diámetro comercial más económico y es de mucha relevancia en el presupuesto total de la vivienda de ferrocemento porque genera impacto en los costos.

6.1.2 PRESUPUESTO

Anteriormente se menciona que HPHH proporcionó un presupuesto de una vivienda de interés social convencional para la cual solo se decidió trabajar en la obra gris, puertas y ventanas debido a que la incidencia de los costos se ve mayormente reflejado en las actividades que se involucran, por lo tanto, se realizaron 3 fichas de costo unitarias para 3 diferentes tipos de paneles de ferrocemento que inciden en la vivienda de interés social con ferrocemento y que se incluyeron en el presupuesto, destacando que hay actividades en ambas viviendas que son similares.

En las siguientes tablas se ven reflejados los costos por actividad de cada vivienda de interés social, así como también el costo total tanto de la vivienda de interés social con materiales convencionales como la vivienda de interés social con elementos de ferrocemento, las actividades en color amarillo son las variantes entre ambos presupuestos, lo que indica que la variación de costos radica en el precio unitario y total de las actividades variantes.

Tabla 2 Presupuesto de vivienda de interés social convencional

PROYECTO: Presupuesto de vivienda de interés social convencional HPHH					
NUMERO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD DE OBRA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES					
1	Trazado y Marcado con Teodolito	ml	48,20	18,07	870,97
2	Excavación Tipo II (Material semi duro)	m³	3,94	126,26	497,46
3	Relleno compactado con material del sitio	m³	4,93	75,61	372,76
	Total de PRELIMINARES				1.741,19
CIMENTACION					
4	Sobre elevacion bloque 6" fundido	m²	28,92	557,34	16.118,27
5	Zapata corrida 60x20cm 4#4, #4@20cm	ml	48,20	536,71	25.869,42
	Total de CIMENTACION				41.987,69
JAMBAS, CASTILLOS Y COLUMNAS					
6	Jamba 10x15cm 2#3, #2@20cm	ml	35,70	114,49	4.087,29
7	Castillo 15x20cm 4#3, #2@20cm	ml	1,50	744,38	1.116,57
	Total JAMBAS, CASTILLOS Y COLUMNAS				5.203,86
CARGADORES Y SOLERAS					
8	Cargador 20x15cm 4#3, #2@20cm	ml	5,50	268,84	1.478,62
9	Solera inferior 15x15cm 4#3, #2@20cm sobre pared	ml	43,70	188,68	8.245,32
10	Solera superior 15x15cm 4#3, #2@20cm sobre pared	ml	43,70	188,68	8.245,32
	Total CARGADORES Y SOLERAS				17.969,26
PAREDES					
11	Pared de bloque de concreto 4" (mortero 1:4)	m²	143,39	344,79	49.439,44
	Total de PAREDES				49.439,44
PISO					
12	Firme de concreto e=15cm (concreto 3000 psi)	m²	52,21	233,63	12.197,82
	Total PISO				12.197,82
ACABADOS					
13	Tallado de elementos de Concreto	MI	52,12	35,13	1.830,98
	Total ACABADOS				1.830,98
TECHO					
14	Techo de lámina de aluzinc cal 26, est. Met can 2"x6"@100cm	m²	74,78	474,66	35.495,07
	Total TECHOS				35.495,07
PUERTAS Y VENTANAS					
15	Puerta metálica de 1.00mx2.00m P-1	unidad	1,00	5.000,00	5.000,00
16	Puerta metálica de 0.80mx2.00m P-2	unidad	4,00	3.000,00	12.000,00
17	Ventana de celosía V-1 de 0.50mx0.40m	m²	0,20	1.760,38	352,08
18	Ventana de celosía V-2 de 1.00mx1.00m	m²	5,00	1.760,38	8.801,90
	Total PUERTAS Y VENTANAS				26.153,98
	TOTAL				192.019,29

Fuente: (Hábitat Para la Humanidad Honduras, 2017)

Tabla 3 Presupuesto de vivienda de interés social con paneles de ferrocemento

PROYECTO: Presupuesto de vivienda de interés social con paneles de ferrocemento					
NUMERO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD DE OBRA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES					
1	Trazado y Marcado con Teodolito	ml	48,20	L 18,07	L 870,97
2	Excavación Tipo II (Material semi duro)	m³	3,94	L 126,26	L 497,46
3	Relleno compactado con material del sitio	m³	4,93	L 75,61	L 372,76
	Total de PRELIMINARES				L 1.741,19
CIMENTACION					
4	Sobre elevacion bloque 6" fundido	m²	28,92	L 557,34	L 16.118,27
5	Zapata corrida 60x20cm 4#4, #4@20cm	ml	48,20	L 536,71	L 25.869,42
	Total de CIMENTACION				L 41.987,69
PAREDES					
6	PANEL de ferrocemento central	ml	150,01	391,40	L 58.713,16
7	PANEL de ferrocemento esquinero 0.5mx0.5m	ml	16,80	508,60	L 8.544,40
8	PANEL de ferrocemento esquinero 0.3mx0.4m	ml	4,40	513,44	L 2.259,11
	Total de PAREDES				L 67.257,56
PISO					
9	Firme de concreto e=15cm (concreto 3000 psi)	m²	52,21	L 233,63	L 12.197,82
	Total PISO				L 12.197,82
TECHO					
10	Techo de lamina de aluzinc cal 26, est. Met can 2"x6"	m²	74,78	L 474,66	L 35.495,07
	Total TECHOS				L 35.495,07
PUERTAS Y VENTANAS					
11	Puerta metalica de 1.00mx2.00m P-1	unidad	1,00	L 5.000,00	L 5.000,00
12	Puerta metalica de 0.80mx2.00m P-2	unidad	4,00	L 3.000,00	L 12.000,00
13	Ventana de celosia V-1 de 0.50mx0.40m	m²	0,20	L 1.760,38	L 352,08
14	Ventana de celosia V-2 de 1.00mx1.00m	m²	5,00	L 1.760,38	L 8.801,90
	Total PUERTAS Y VENTANAS				L 26.153,98
	TOTAL				L 184.833,31

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 RESULTADO DE LA COMPARACIÓN DE COSTOS

Los resultados de acuerdo a los cálculos realizados para el presupuesto de cada vivienda indican una ventaja significativa a favor de la vivienda con paneles de ferrocemento en cuanto a costos, por lo que es recomendable la construcción de viviendas de interés social con paneles de ferrocemento, la diferencia de costos que indica un resultado favorable para la vivienda con paneles de ferrocemento es de L7,185.98, lo cual indica un 4% de reducción en los costos.

La siguiente tabla es una comparación de costo de las actividades que varían entre ambas viviendas, también se puede observar la comparación entra la cantidad de actividades de cada vivienda. La vivienda de interés social convencional tiene un total de 8 actividades mientras que la vivienda de ferrocemento tiene un total de 3 actividades.

Tabla 4 Cuadro resumen de costos

Costo de actividades de vivienda con paneles de ferrocemento			Costo de actividades de vivienda con materiales convecionales		
Número	Actividad	Total	Número	Actividad	Total
1	Panel de ferrocemento central	L 58.713,16	1	Jamba 10x15cm 2#3, #2@20cm	L 4.087,29
2	Panel de ferrocemento esquinero 0.5mx0.5m	L 8.544,40	2	Castillo 15x20cm 4#3, #220cm	L 1.116,57
3	Panel de ferrocemento esquinero 0.3mx0.4m	L 2.259,11	3	Cargadores 20x15cm 4#3, #2@20cm	L 1.478,62
			4	Solera inferior 15x15cm 4#3, #2@20cm	L 8.245,32
			5	Solera superior 15x15cm 4#3, #2@20cm	L 8.245,32
			6	Pared de bloque de concreto 4" (mortero 1:4)	L 49.439,44
			7	Tallado de elementos de concreto	L 1.830,98
TOTAL		L 69.516,67	TOTAL		L 74.443,54

Fuente: Elaboración propia.

6.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA VIVIENDA DE PANELES DE FERROCEMENTO

Previo al análisis se hace mención que está basado en que el proyecto se realizará en el municipio de Cabañas, departamento de La Paz por lo que los datos requeridos se tomaran en base a la ubicación y a lo que establece el CHOC-08.

Adicional a la comparación de presupuesto entre una vivienda de interés social con materiales convencionales y una vivienda con elementos de ferrocemento se optó por la verificación de resistencia del ferrocemento expuesto a cargas reglamentarias que establece el CHOC-08.

6.2.1 PROPIEDADES Y MODELO DE LA VIVIENDA DE FERROCEMENTO STAAD.PRO

Para el análisis de la estructura se hizo uso del software de diseño STAAD.Pro, en el cual se ingresó un modelo de la vivienda de paneles de ferrocemento aproximado, las canaletas de la vivienda y cargas reglamentarias del CHOC-08 y también se ingresaron las propiedades de los elementos a analizar, algunas de las propiedades del ferrocemento se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5 propiedades del ferrocemento

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 ultima a tracción	0.0035 o la deformación ultima 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	$0.05 \leq W \leq 0.10\text{ mm}$

Fuente: (ACI-549)

Algunas de las propiedades como el módulo de elasticidad y el 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.

The screenshot shows the 'FERROCEMENTO' material properties dialog in STAAD.Pro. The 'Title' is set to 'FERROCEMENTO'. Under 'Material Properties', the values are: Young's Modulus (E) = 1e+07 kN/m2, Poisson's Ratio (nu) = 0.2, Density = 23.54 kN/m3, Thermal Coeff(a) = 5.5e-06 /°F, Critical Damping = 0.05, and Shear Modulus (G) = 9.28137e+06 kN/m2. The 'Type of Material' is set to 'CONCRETE'. Under 'Design Properties', the values are: Yield Stress (Fy) = 0 kN/m2, Tensile Strength (Fu) = 0 kN/m2, Yield Strength Ratio (Ry) = 0, Tensile Strength Ratio (Rt) = 0, and Compressive strength (Fcu) = 25000 kN/m2.

Ilustración 10 Propiedades del ferrocemento ingresadas en STAAD.Pro

Fuente: Elaboración propia

Las propiedades de los elementos del techo se ingresaron de acuerdo a los datos proporcionados por HPHH que indica el uso de canaletas de 2"x4"x1/16"x20" con láminas calibre 26.

Property	Value	Unit
AX	0.000323	m ²
IX	3.04855e-0	m ⁴
YD	0.1016	m
AY	0.000323	m ²
IY	1.21e-08	m ⁴
ZD	0.0508	m
AZ	0.000323	m ²
IZ	5.41e-08	m ⁴
YB	0	m
ZB	0	m

Material
STEEL

Ilustración 11 Propiedades de canaletas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente ilustración se detalla el modelo aproximado de la vivienda en el cual se observa la discretización de los muros de carga de ferrocemento para el previo análisis de resistencia en el que se considera el muro de carga más crítico expuesto a las cargas reglamentarias aplicadas.

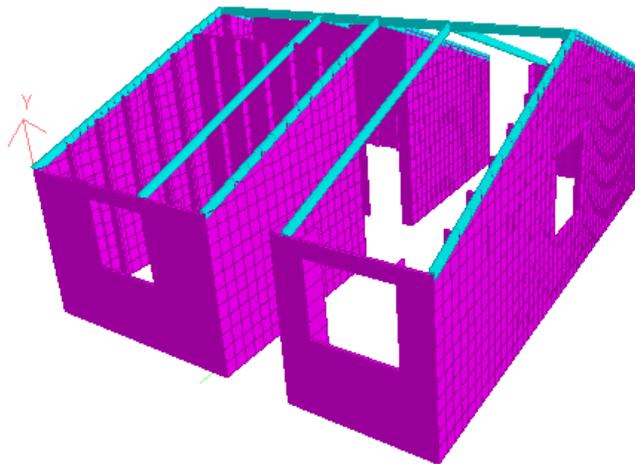


Ilustración 12 Vista geométrica del modelo de vivienda en STAAD.Pro

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 CARGAS REGLAMENTARIAS APLICADAS

Las cargas reglamentarias aplicadas a la estructura están basadas en el código hondureño de la construcción 2008.

6.2.2.1 Carga Muerta

Para la carga muerta se consideró el peso propio de los paneles de ferrocemento y adicional el peso de las láminas de Aluzinc distribuido en cada canaleta de acuerdo con su ancho tributario, el peso de la lámina de calibre 26 es aproximadamente 3.57 kg/m².

Calibre	Espesor pulg – mm	Kg / hoja		Kg / hoja		Kg/m ²
		3'x8'	3'x10'	4'x8'	4'x10'	
14	0.075 – 1.905	33.70	42.12	44.93	56.16	15.11
16	0.060 – 1.524	26.96	33.70	35.94	44.93	12.09
18	0.048 – 1.219	21.57	26.96	28.75	35.94	9.67
20	0.036 – 0.914	16.17	20.22	21.57	26.96	7.25
22	0.030 – 0.762	13.48	16.85	17.97	22.46	6.05
24	0.024 – 0.610	10.78	13.48	14.38	17.97	4.84
26	0.019 – 0.493	8.09	10.11	10.78	13.48	3.57

Ilustración 13 Peso de lámina de Aluzinc calibre 26.

Fuente: (Fortacero)

6.2.2.2 Carga viva

Se determinó la carga viva del techo de acuerdo con la pendiente del techo que resultó ser 37.84% y con un área tributaria no excedente a 20 m², por lo que se determinó aplicar una carga viva de 80 kg/m² que se distribuyó de acuerdo al ancho tributario correspondiente a cada canaleta.

Tabla 6 Cargas vivas mínimas de techo

Tabla 1.1.5-1 Cargas vivas mínimas de techo ^a

PENDIENTE DE TECHO	MÉTODO 1			MÉTODO 2		
	Área tributaria para cualquier miembro estructural en m ²			Carga ^b uniforme en Kg/m ²	Razón de reducción <i>r</i> en %	Reducción máxima <i>R</i> en %
	0 a 20	20 a 60	> que 60			
1 Plano ^a o menor que 33%. Arcos o domos con una altura menor que 1/8 del claro	100	80	60	100	0.08	40
2 De 33% a menos de 100%. Arcos o domos con una altura de 1/8 a menos que 3/8 del claro	80	70	60	80	0.06	25
3 Igual o mayor que 100%. Arcos o domos con una altura mayor o igual a 3/8 del claro	60	60	60	60	No se permite reducción	
4 Quioscos o tiendas, excepto las cubiertas con tela	25	25	25	25		
5 Invernaderos, entramados y edificios de agricultura ^d	50	50	50	50		

Fuente: (CHOC , 2008)

6.2.2.3 Carga de Sismo

El (CHOC , 2008) especifica que las estructuras deberán diseñarse para resistir como mínimos los efectos de los movimientos sísmicos del terreno. En el mapa se muestra la zona en donde se considera la vivienda que es en el departamento de La Paz, por lo que la zona sísmica es 4b.

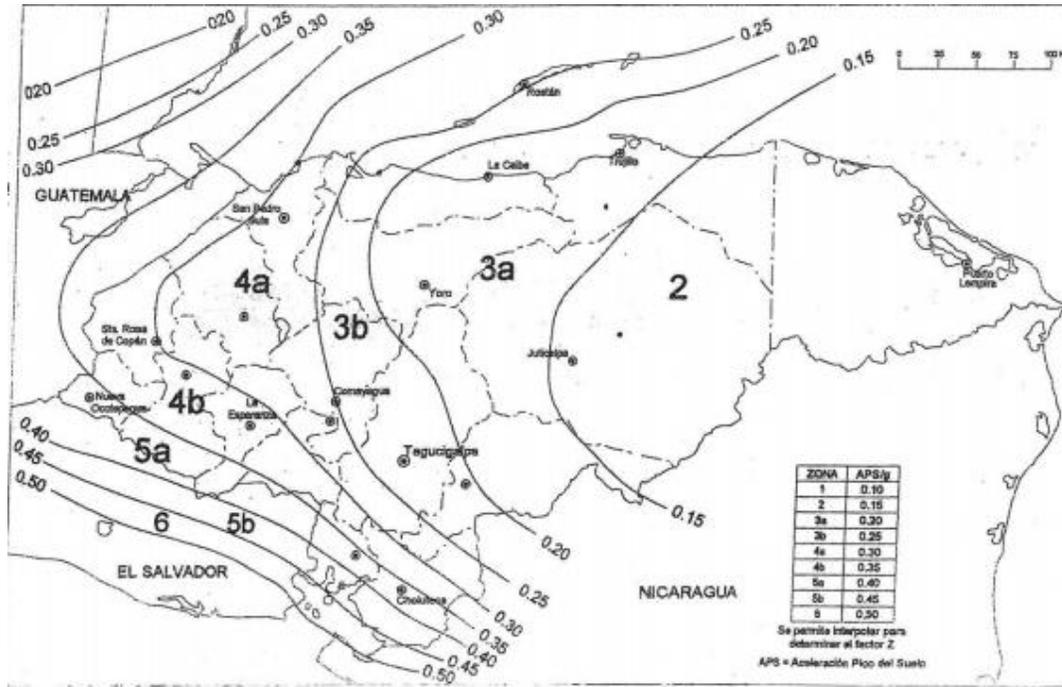


Ilustración 14 Mapa de Zonas Sísmicas

Fuente: (CHOC , 2008)

La zona sísmica especificada en el mapa es de 4b por lo que el factor de zona sísmica (z) es de 0.35, dado que se añadió en el diseño en el programa STAAD.Pro.

Tabla 7 Factor de zona sísmica Z

Tabla 1.3.4-1 Factor de zona sísmica Z

ZONA SISMICA ^a	1	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6
Z	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50

^a La zona sísmica deberá determinarse del mapa de zonas en la figura 1.3.4-1.

Fuente: (CHOC , 2008)

El dato del coeficiente del suelo s se asume tipo S3 que indica un coeficiente S de 1.5, de acuerdo al sitio en donde se construirá la vivienda, Cabañas, La Paz.

Tabla 8 Coeficiente del suelo S y parámetros para curvas de espectro

Tipo	Descripción	Coeficiente S	Parámetros para espectros		
			Períodos en segundos		Exponente e
			T_s	T_b	
S1	Un perfil de suelo con: (a) Un material tipo roca caracterizado por una velocidad de onda cortante mayor que 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación, o (b) Condiciones de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo es menor que 60 metros.	1.0	0.155	0.364	2.00
S2	Un perfil de suelo con condiciones predominantes de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo excede los 60 metros.	1.2	0.186	0.524	2.00
S3	Un perfil de suelo que contiene más de 6 metros de arcilla blanda a media-duro, pero no más de 12 metros de arcilla blanda.	1.5	0.233	0.818	2.00
S4	Un perfil de suelo que contiene más de 12 metros de arcilla blanda, caracterizado por una velocidad de onda cortante menor que 150 m/s.	2.0	0.310	1.455	2.00

Fuente: (CHOC , 2008)

Para definir la categoría de ocupación se optó por un factor de importancia sísmica de 1.

Tabla 9 Categoría de ocupación y factores de Importancia

Tabla 1.3.4-3 Categoría de ocupación y factores de importancia

Categoría de Ocupación	Descripción de la ocupación o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica I	Factor de importancia sísmica I_s	Factor de importancia de viento I_w
1 Estructuras esenciales	Hospitales y otros centros médicos que tienen áreas de cirugía y emergencia. Estaciones de bomberos y policía Garajes y refugios para vehículos y aeronaves de emergencia. Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias. Torres de control de aviación. Estructuras y equipos esenciales del gobierno. Centros de comunicación y otros centros requeridos para la responder a una emergencia. Plantas y equipos generadores de energía para estructuras esenciales. Tanques y otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua contra incendios requerida para la protección de estructuras con Categoría tipo 1, 2 o 3.	1.25	1.50	1.15
2 Estructuras peligrosas	Estructuras que albergan, contienen o soportan sustancias o químicos tóxicos o explosivos en cantidades suficientes que serían peligrosas a la seguridad del público en general si se soltaran.	1.25	1.50	1.15
3 Estructuras de ocupación especial	Centros de reuniones públicas para más de 300 personas. Escuelas y centros para niños o infantes. Universidades y centros similares para más de 500 estudiantes. Centros de inválidos para más de 50 residentes. Todas las estructuras para más de 5,000 personas. Las estructuras y equipos de plantas generadoras de energía; y otros centros de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 y 2, y que su operación continua es requerida.	1.00	1.00 ^b	1.00
4 Estructuras ordinarias	Todas las estructuras que tienen una ocupación o función no incluida en las Categorías 1, 2 o 3.	1.00	1.00 ^a	1.00

Fuente: (CHOC , 2008)

También se definieron dos coeficientes R_w para sistemas estructurales de acuerdo con la siguiente tabla que especifica un sistema básico estructural como paredes livianas con marco y paneles de cortante en la opción b) todas las otras paredes livianas teniendo como resultado un R_w de 7 en ambas direcciones tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10 Coeficiente R_w para sistemas estructurales

Sistema básico estructural ^a	Descripción del sistema resistente a fuerzas laterales	R_w ^b	Altura ^c (metros)	
1 Sistema con muros de carga	1 Paredes livianas con marco y paneles de cortante			
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	8	20	
	b) Todas las otras paredes livianas	6	20	
	2 Muros cortante			
	a) Concreto	6	50	
	b) Mampostería	6	50	
	3 Muros de carga livianos de acero con riostras solo en tensión	4	20	
	4 Marcos arriostrados donde las riostras soportan cargas gravitacionales			
	a) Acero	6	50	
	b) Concreto ^d	6	-	
c) Madera pesada	4	20		
2 Sistema de marco de edificio	1 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)	10	75	
	2 Paredes livianas con marco y paneles de cortante			
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	9	20	
	b) Todas las otras paredes livianas	7	20	
	3 Muros cortante			
	a) Concreto	8	75	
	b) Mampostería	6	50	
	4 Marcos arriostrados comunes			
	a) Acero	8	50	
	b) Concreto ^d	8	-	
c) Madera pesada	8	20		
5 Marcos arriostrados concéntricos especiales de acero	9	75		
3 Sistema de marco rígido	1 Marcos rígidos especiales (MRE)			
	a) Acero	12	S.L.	
	b) Concreto	12	S.L.	
	2 Marco-muro rígido de mampostería	9	50	
	3 Marcos semirígidos de concreto (MSR) ^e	8	-	
	4 Marcos rígidos comunes (MRC)			
a) Acero	6	50		
b) Concreto ^f	5	-		
4 Sistemas dobles	1 Muros cortante			
	a) Concreto con MRE	12	S.L.	
	b) Concreto con MRC de acero	6	50	
	c) Concreto con MSR de concreto ^e	9	50	
	d) Mampostería con MRE	8	50	
	e) Mampostería con MRC de acero	6	50	
	f) Mampostería con MSR de concreto ^e	7	-	
	2 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)			
	a) con MRE de acero	12	S.L.	
	b) con MRC de acero	6	50	
	3 Marcos arriostrados comunes			
	a) Acero con MRE de acero	10	S.L.	
	b) Acero con MRC de acero	6	50	
	c) Concreto con MRE de concreto ^e	9	-	
	d) Concreto con MSR de concreto ^e	6	-	
	4 Marcos arriostrados concéntricos especiales			
	a) Acero con MRE de acero	11	S.L.	
	b) Acero con MRC de acero	6	50	
	5 No definido	Ver Secciones 1.3.4.8.3 y 1.3.4.9.2	-	-

Fuente: (CHOC , 2008)

6.2.2.4 Carga de viento

Para determinar la presión del viento es necesario utilizar la ecuación:

$$P = C_e * C_q * q_s * I_w$$

Ecuación 1 Presión de diseño del viento

Fuente: (CHOC , 2008)

En la cual se reemplazaron los valores de la fórmula de acuerdo con las tablas establecidas en el CHOC-08. En base al mapa se consideró el lugar de La Paz, debido a que HPHH proporcionó el proyecto a dicho departamento, por lo que la velocidad mínima básica del viento que se tomó como dato fue de 100km/h.

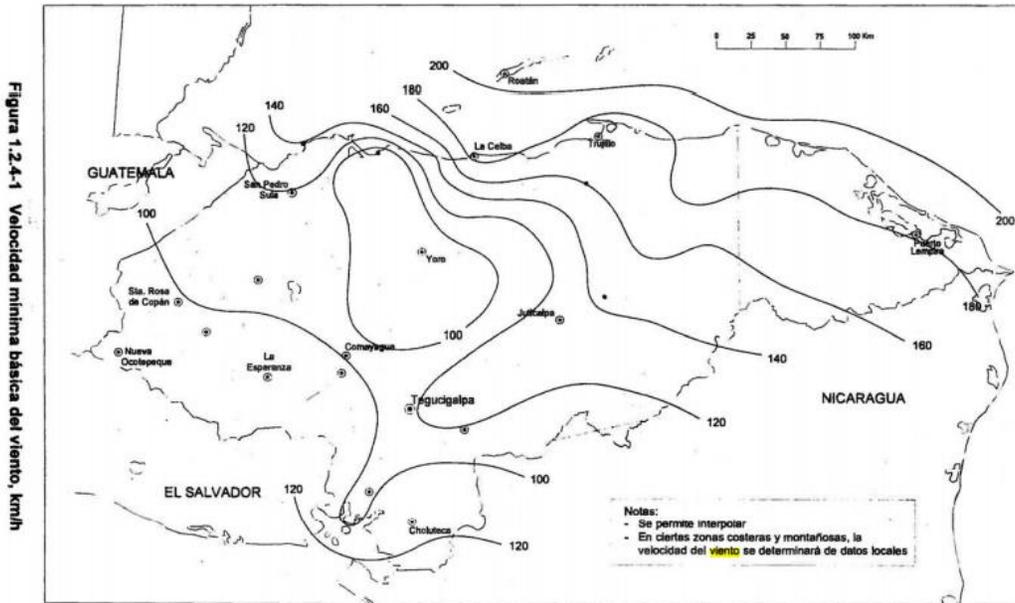


Ilustración 15 Velocidad mínima básica del viento, km/h

Fuente: (CHOC , 2008)

En base a la velocidad básica del viento en el departamento de La Paz, se obtuvo como dato una presión estática del viento (q_s) de 48.4 kg/m^2 .

Tabla 11 Presión estática del viento q_s a la altura estándar de 10 metros

Tabla 1.2.3-1 Presión estática del viento q_s a la altura estándar de 10 metros

Velocidad básica del viento ^a Km/h	Presión estática del viento q_s Kg/m ²
100	48.4
110	58.5
120	69.6
130	81.7
140	94.8
150	108.8
160	123.8
170	139.8
180	156.7
190	174.6
200	193.4

^a Ver la Sección 1.2.4 para la velocidad básica del viento

Fuente: (CHOC , 2008)

Para el cálculo del coeficiente combinado se tiene una exposición C y una altura entre 0-5 metros, debido a que la vivienda tiene una altura promedio de 3 metros. Por lo tanto, se tiene un coeficiente C_e de 1.07

Tabla 12 Coeficiente combinado C_e para altura, exposición y factor de ráfaga

Tabla 1.2.3-2 Coeficiente combinado C_e para altura, exposición y factor de ráfaga^a

Altura promedio sobre el nivel del terreno, metros.	Exposición B	Exposición C	Exposición D
0 - 5	0.62	1.07	1.39
7.5	0.71	1.17	1.49
10	0.78	1.25	1.56
12.5	0.84	1.31	1.62
15	0.89	1.37	1.67
20	0.98	1.46	1.75
25	1.06	1.53	1.82
30	1.12	1.60	1.87
40	1.24	1.70	1.97
50	1.33	1.79	2.04
75	1.53	1.96	2.18
100	1.68	2.09	2.29
125	1.81	2.19	2.38

^a Se permite interpolar para valores intermedios de alturas sobre 5 metros.

Fuente: (CHOC , 2008)

El coeficiente C_q se ingresó en el programa STAAD.Pro ya que dependía de los factores de reducción aplicados, para barlovento de 0.8, sotavento 0.5 y un factor para techo de 0.7. y con un factor de importancia I_w igual a 1. Por lo que el cálculo de la presión del viento se expresa de la siguiente manera:

$$P = \frac{48.4kg}{m^2} * 1.07 = 51.79 \frac{kg}{m^2} = 0.51 \frac{kN}{m^2}$$

La presión estática del viento resultante es de 0.51 kN/m² la cual se multiplicó por un factor de reducción de acuerdo con la dirección del viento en la estructura y así mismo para los elementos del techo a los cuales se les aplicó una carga de acuerdo a su ancho tributario. A continuación, se muestran tablas resumen de los resultados de las cargas aplicadas a los diferentes elementos de la estructura. Para la modelación de los elementos se tomó en cuenta como una estructura parcialmente cerrada.

Tabla 13 Cargas aplicadas en los elementos del techo

#viga	Ancho tributario m	Carga viva (KN/m)	Carga muerta (Kn/m)	Carga viento Horizontal (Kn/m)	Carga viento Vertical (kn/m)	Succión de techo (kn/m)
1	1,00	0,785	0,785	0,126	0,334	0,357
2	1,50	1,178	1,178	0,189	0,500	0,536
3	1,06	0,832	0,832	0,134	0,354	0,378
4	1,40	1,099	1,099	0,177	0,467	0,500
5	0,84	0,659	0,659	0,106	0,280	0,300

Fuente: Elaboración propia

6.2.2.5 Combinación de cargas

Las combinaciones de cargas aplicadas a la estructura se plantearon de acuerdo con lo especificado en el CHOC-08 sin la aplicación de la excentricidad accidental, así mismo las de mayor incidencia en la estructura.

Tabla 14 Cargas combinadas

11 : D+L
12 : 1.4D+1.7L
13 : 0.9D+1.43EX(+)
14 : 0.9D+1.43EX(-)
15 : 0.9D+1.43EZ(+)
16 : 0.9D+1.43EZ(-)
17 : 0.9D+1.3VX+
18 : 0.9D+1.3VX-
19 : 0.9D+1.3VZ+
20 : 0.9D+1.3VZ-

Fuente: (CHOC , 2008)

6.2.3 VERIFICACIÓN DE RESISTENCIAS

El ferrocemento posee propiedades físicas y mecánicas que lo caracterizan como un excelente material, por lo que se decidió hacer un modelo de la vivienda en el programa STAAD.Pro en el cual se modelaron los paneles de ferrocemento como losas discretizadas para la aplicación de las cargas reglamentarias establecidas por el CHOC-08. Se decidió revisar el cumplimiento de la resistencia al cortante y flexión.

6.2.3.1 Resistencia al cortante

El ferrocemento se ha utilizado principalmente en paneles de pared delgada en donde la relación altura-longitud en flexión es mayor y de una u otra manera el esfuerzo cortante no gobierna el criterio de falla. (Malpica, 2017)

La siguiente ecuación permite obtener la resistencia a cortante:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6}$$

Ecuación 2 Resistencia a cortante

Fuente: (ACI-549, 1999)

Donde:

V_c : Resistencia promedio nominal a cortante proporcionada por la matriz de mortero

F'_c : Resistencia a la compresión del mortero.

Con una resistencia a compresión de $F'_c=25,000 \text{ kN/m}^2$ se tiene como resultado una resistencia a cortante de $V_c=26.35 \text{ kN/m}^2$.

En la siguiente ilustración se observa la concentración de esfuerzos a cortante, los colores más claros indican baja concentración mientras que los colores más oscuros indican que hay mayor concentración de esfuerzo al cortante. La mayor concentración de esfuerzos se centra en la parte frontal de la estructura tal como se muestra en la ilustración 18.

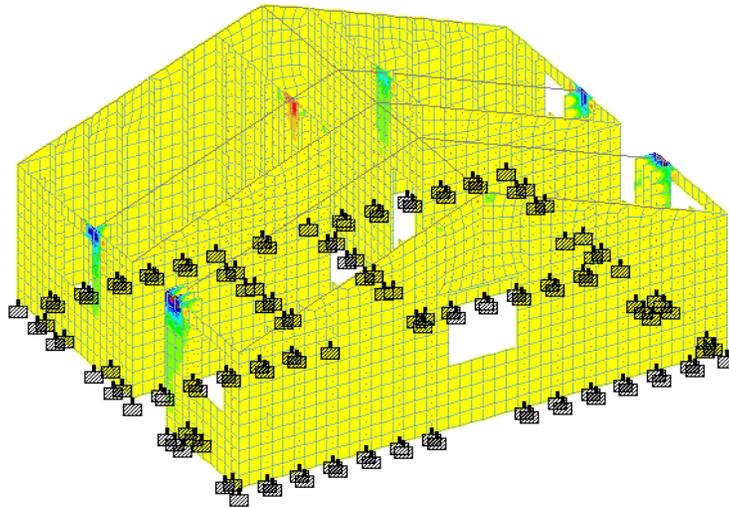


Ilustración 16 Concentración de esfuerzos a cortante vista 3D

Fuente: Elaboración propia

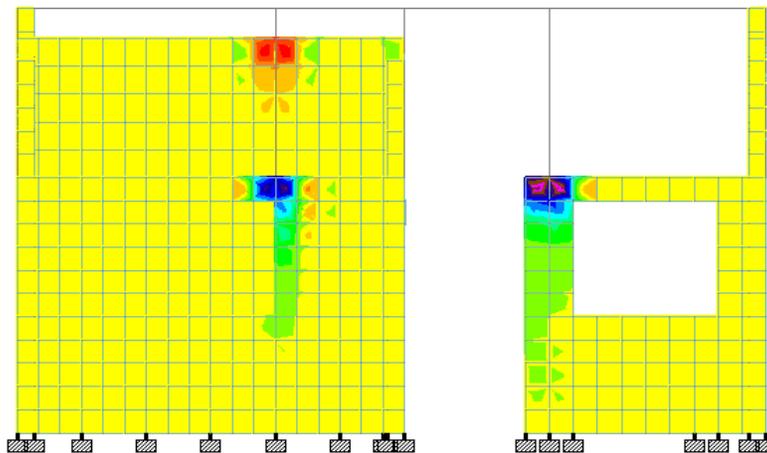


Ilustración 17 Concentración de esfuerzos a cortante vista frontal

Fuente: Elaboración propia

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 que se obtuvo el valor de cortante reflejado en la siguiente tabla, las variables a destacar en la siguiente tabla son SQX y SQY en donde:

SQX, SQY: Esfuerzos cortantes

Tabla 15 Cortante máximo en la estructura

Plate No : 1114

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
21.782	-8.03619	-2308.49	551.049
SXY (local) kN/m ²	MX (local) kN-m/m	MY (local) kN-m/m	MX Y (local) kN-m/m
-63.1289	0.0131828	0.0234228	-0.0324858

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra un cortante de 21.78 kN/m², por lo que se verifica la comparación de valores de cortante en la siguiente ecuación:

$$21.78 \frac{kN}{m^2} \leq 26.35 \frac{kN}{m^2}$$

Lo cual indica que la estructura cumple con el requisito de cortante debido a que se encuentra por debajo del valor requerido.

6.2.3.2 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.

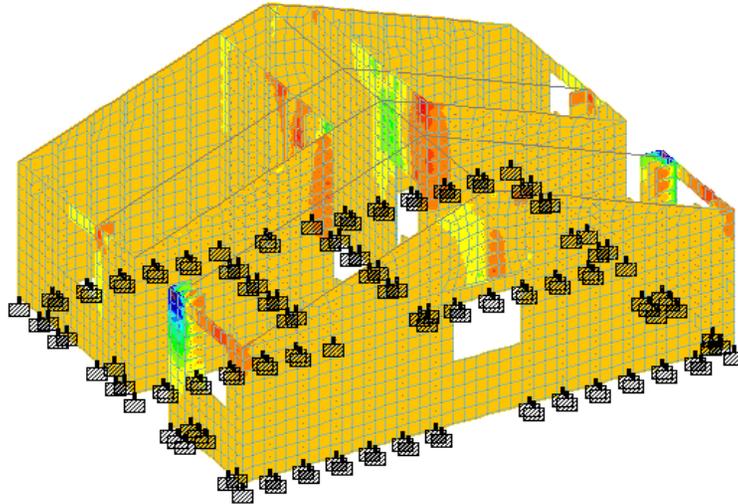


Ilustración 18 Concentración de Fuerza (momento flector) vista 3D

La mayor concentración de momento se genera en uno de los elementos frontales de la estructura tal como se observa en la ilustración 20.

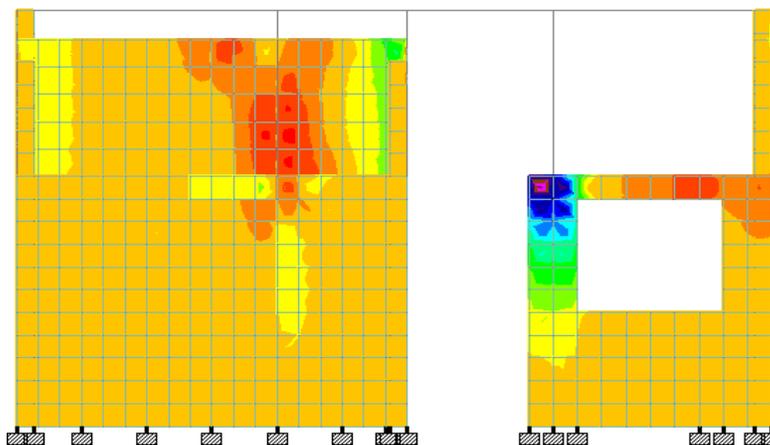


Ilustración 19 Concentración de fuerza (momento flector) vista frontal

Fuente: Elaboración propia

El momento flector del ferrocemento se define con la siguiente formula:

$$\phi Mn = As * Fy * \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Ecuaición 3 momento de flexión del ferrocemento

Donde d es 1.25 cm, a es el bloque a compresión de la sección de ferrocemento expresada de la siguiente manera:

$$a = A_s * \frac{f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

A_s : área del acero calculado en 1m de panel de ferrocemento, varilla ¼"

F_y : resistencia del acero grado 40, 2800 kgf/cm²

F'_c : resistencia a compresión del ferrocemento, 254.93 kgf/cm²

b : ancho de panel analizado 100 cm.

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

El momento se calcula de la siguiente manera:

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

En el programa STAAD.Pro se obtiene el siguiente resultado de momento en uno de los paneles mas criticos. Las variables a destacar en la siguiente tabla son MX y MY en donde:

MX,MY: Momento por unidad de ancho.

Tabla 16 Momento máximo de la estructura

Plate No : 520

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
-909.547	-327.013	1347.31	33.081
SXY (local) kN/m2	MX (local) kN-m/m	MY (local) kN-m/m	MAXY (local) kN-m/m
125.114	-0.349146	-0.398363	-0.672176

En la tabla anterior se muestra un momento predominante $M_y = -0.39$ kN-m/m, por lo que se hace la revisión comparando ambos momentos de flexión en la siguiente ecuación:

$$0.39kN - \frac{m}{m} \leq 0.61kN - m/m$$

El resultado obtenido indica que la estructura cumple con el requisito de momento flector, el resultado se encuentra por debajo del valor requerido.

VII. CONCLUSIONES

Al proponer el uso de paneles de ferrocemento para construcción de viviendas de interés social como material sustituto de las paredes de bloque y elementos de concreto armado, se han encontrado una serie de ventajas girando en torno de los costos, espacio físico y desempeño mecánico.

- 1 Las dos variables principales que se han de considerar en el análisis del ferrocemento son en primer lugar, el costo de los paneles de ferrocemento y en segundo lugar las propiedades físicas y mecánicas. La importancia del costo de los paneles ha radicado en que existe la posibilidad de optar por diferentes secciones de paneles que minimicen los costos. Por otro lado, las propiedades físicas y mecánicas son las que definen la resistencia de los paneles expuestos a las cargas reglamentarias que se deberían de aplicar en toda estructura.
- 2 Debido a que los espesores de los paneles varían en un rango de 2-5 cm ha sido necesario ampliar los espacios dentro de la vivienda al considerar elementos de ferrocemento. El escueto tamaño de los tipos de sección de ferrocemento que se pueden utilizar en la vivienda ha sido una de las características más pronunciadas, como ventaja adicional se ha determinado que no se requiere de elementos de concreto armado como columnas, castillos, jambas y cargadores. Esta característica ha implicado una reducción de costos significativo en la obra.
- 3 Al elaborar las fichas de costo para los paneles de ferrocemento y al comparar el presupuesto correspondiente de una vivienda de interés social proporcionado por HPHH se ha encontrado que el valor de la vivienda de interés social convencional es de L192,029.19, y el de una vivienda con paneles de ferrocemento es de L184.833,31 Esta diferencia ha determinado que el ferrocemento es una opción viable para la construcción de la vivienda de interés social en el país. Para tener un mejor contexto de los resultados, las actividades complementarias en el presupuesto se han mantenido, sin embargo, se ha concentrado el análisis específicamente para la obra gris, con la sustitución de las paredes de bloque y elementos de concreto armado por paneles de ferrocemento.

- 4 Las variables que se han considerado en el proyecto involucran costos y verificación de resistencia de la estructura. Se han obtenido resultados positivos en el sentido de que los costos del proyecto, utilizando paneles de ferrocemento en sustitución de paredes de bloques y elementos de concreto armado, disminuyen de manera significativa. En cuanto a la verificación de la resistencia a cortante y al momento flector, se ha encontrado que estas cumplen con lo especificado para el uso del ferrocemento en el ACI-549 ante las cargas reglamentarias del CHOC aplicadas a la estructura.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1 Implementar el uso de paneles de ferrocemento para la construcción de viviendas de interés social, como material en la construcción en viviendas de interés social para Honduras, solución de bajo costo, lo que aumenta la oportunidad para las familias que carecen de una vivienda digna.
- 2 Usar diferentes secciones de paneles para paredes, considerando que los paneles de ferrocemento son de uso práctico y fácil de manipular, permitiendo una adecuada distribución en la vivienda, con espacios de acuerdo con normas y secciones que pueden rigidizar la estructura para soportar las cargas reglamentarias para estructuras de techos.
- 3 Recomendar el uso de paneles de ferrocemento en sustitución de paredes de bloque y elementos de concreto armado, dada la diferencia significativa entre los costos de una vivienda construida por métodos tradicionales con uso de cemento Portland y una vivienda construida con paneles de ferrocemento, adicionando a la recomendación que los paneles de ferrocemento cumplen con los requerimientos de resistencia ante cargas esperadas.
- 4 Proponer nuevas investigaciones para dar seguimiento a la presente investigación, con un enfoque estructural en cuanto a resistencia y verificación de propiedades físicas y mecánicas del ferrocemento adicional a la valoración de la fuerza directa de impacto por armas de fuego debido a que es un tema relevante de seguridad en Honduras y de manera que sea considerado en un capítulo del Código Hondureño de la Construcción (CHOC) y se implemente en país para la construcción de edificaciones.
- 5 Profundizar en el uso del programa STAAD.Pro para el análisis de la resistencia de las estructuras de edificaciones con paneles de ferrocemento, ya que es una herramienta que facilita el análisis estructural, a diferencia del análisis manual utilizando elementos de viga.
- 6 Considerar hacer un análisis estructural y una comparativa de costos sustituyendo cimentaciones convencionales por cimentaciones con ferrocemento, ya que existe evidencia de que el ferrocemento es empleado en cubiertas y cimentaciones, por lo que se pueden obtener resultados significativos en cuanto a menores costos.

- 7 Considerar costos adicionales si se desea sellar los paneles de ferrocemento en el interior de la vivienda con ferrocemento o con un material diferente que no aumente los costos de manera significativa.
- 8 Eliminar pestañas de los paneles que se encuentran en el interior de la propuesta de vivienda de interés social debido a que la concentración de esfuerzos en estos elementos no es significativa y también implica una reducción de costos de acuerdo a lo que se plantea en la presente investigación.
- 9 Investigar si el ferrocemento en las viviendas es factible para ampliaciones futuras, debido a que es bastante común el crecimiento en las familias y por ende existe la necesidad de la ampliación de la vivienda, por lo que siempre se recurre a adicionar un segundo nivel.
- 10 Analizar qué tan compatible es el uso de elementos de ferrocemento o el ferrocemento en si para la vivienda de interés social, debido a que el considerar otros aspectos (ubicación, ampliación, elección de paneles, distribución) pueden incurrir en mayores gastos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- ACI-549. (1999). *Guide for the desing, construction, and repair of Ferrocement*.
- B.k. Paul, R. P. (1981). *Ferrocemento*. MEXICO: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- BID. (2012). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. New York.
- BID. (2019). *MANUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE VIVIENDA: En barrios populares de Tegucigalpa*. Tegucigalpa. Retrieved from https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Manual_de_construcci%C3%B3n_y_mantenimiento_de_vivienda_en_barrios_populares_de_Tegucigalpa_es_es.pdf
- Bonifacio. (2004). *Diseño, materiales y procedimientos de constructivos de ferrocemento para agua y saneamiento*. . Brazil: S.N.
- Camargo, A., & Hurtado, A. (2011). Vivienda y pobreza: una relación compleja. *Javeriana*, 11.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2013). *conceptos generales sobre ferrocemento, de la universidad Nacional de Colombia*. COLOMBIA.
- CICH. (2008). *CHOC*. Tegucipalpa.
- CONVIVIENDA. (2014, mayo 30). *Convivienda*. Retrieved from <http://www.convivienda.gob.hn/index.php/sobre-nosotros/quienes-somos>
- ECO SUR. (2015, ABRIL 11). Retrieved from <https://www.ecosur.org/index.php/es/todos-los-articulos/27-ecosur-e-magazine/edicion-41-abril-2014/70-los-ecomateriales-en-el-world-urban-forum>
- Fortacero. (n.d.). *Lamina Galvanizada*.
- Fuentes, Y. (2010). *Evaluación del sistema de edificaciones residenciales de ferrocemento ante cargas de viento y sismo*. La Habana.
- FUNDEVI. (2001, Diciembre 13). *FUNDEVI*. Retrieved from Fundevi.hn

- Habitat Para la Humanidad Honduras. (2017). *Barreras de acceso a suelo para la vivienda social en Honduras*. San Pedro Sula. Retrieved from <http://www.habitathn.org/wp-content/uploads/2017/08/Barreras-de-Acceso-al-Suelo-para-Vivienda-Social-en-Honduras.pdf>
- Hábitat Para la Humanidad Honduras. (2017). *Hábitat Para la Humanidad Honduras*. Retrieved from <http://habitathn.org/vision/>
- Hábitat Para la Humanidad Honduras. (2017). *Política Pública de Vivienda de Interés Social*. La Paz.
- Hernandez, C. M. (2013). *El ferrocemento como una alternativa de construcción viable*. MEXICO: Tecamachalco Edo. De Mexico.
- INCAE. (2016). *Estado de la vivienda en Centroamérica*. Retrieved from http://x.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/Estado_de_la_Vivienda_en_CA.pdf
- Malpica, P. (2017). *Análisis de factibilidad técnica y económica de viviendas sismoresistentes en ferrocemento*. Bogotá. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62109>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). *Los materiales en la construcción de vivienda de interés social*. Bogotá: Aicol.
- Ministerio de Fomento. (2016). *Construyendo con recursos escasos en latinoamérica*. Madrid: Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- Morgan, R. &. (1998). *The armature that made history: the boats of Joseph Louis Lambot*. In *6th International Sym. on Ferrocement - Ferrocement 6*.
- Norma Cubana 037-003-07. (2007). *Código de Buenas Prácticas para el diseño y ejecución de las estructuras de ferrocemento*. Habana: NC.
- Olvera, A. L. (2002). *El ferrocemento y sus aplicaciones*. Mexico: Alfa y Omega.
- ONU-HABITAT. (2016). *Urbanización y desarrollo: Futuros Emergentes*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Thiery Naudyn. Retrieved from <http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/Reportedelasciudades2016.pdf>

- Pérez, L. (2016). El diseño de la vivienda de interés social. La satisfacción de las necesidades y expectativas del usuario. *Revista de Arquitectura, Universidad de La Salle, Bogotá*. doi:10.14718/RevArq.2016.18.1.7
- Ruiz, D. A. (2005). *Estudio de Resistencia y vulnerabilidad sismicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Sánchez, J. A. (2013, agosto). *Academia.edu*. Retrieved from LA VIVIENDA EN HONDURAS: UNA PROPUESTA ESTRETEGICA: https://www.academia.edu/23992141/Vivienda_Social_en_Honduras_Una_Propuesta_Estrategica
- Vergara, L. (2016). Gestión de la vivienda social. Hechos, desafíos y campo de acción. *ResearchGate*, 1-13. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/313853706_Gestion_de_la_Vivienda_Social_Hechos_desafios_y_campos_de_accion
- Wainshtok, H. (2010). *Ferrocemento: diseño y construcción*. Cuba: La Fabrika Comunicacion Integral.
- Wainshtok, H. (2010). Ferrocemento: diseño y constucción. In H. Wainshtok, *Ferrocemento: diseño y constuccion* (p. 351). Cuba: La Fabrika Comunicacion integral.

ANEXOS

Fichas de costos unitarios

Ficha de costo de panel de ferrocemento central 1x0.5x0.025m

Actividad:		Panel de ferrocemento central 0.5x1x0.025m con varilla de hierro lisa de 1/4" y dosificación 1:4				
Cantidad:		1,00			Unidad: ml	
Nº	Descripción	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total
Materiales						
1	Cemento gris tipo Portland	bolsa	0,3154	3,00%	L 190,00	L 61,71
2	Arena de río lavada	m³	0,0143	7,00%	L 300,00	L 4,59
3	Agua	m³	0,0016	25,00%	L 25,00	L 0,05
4	Malla de gallinero	ml	0,3667		L 3,30	L 1,21
5	Varilla de hierro lisa de ¼	lance	1,4619		L 85,00	L 124,26
6	Madera rustica de pino	pt	1,0800		L 25,00	L 27,00
7	Alambre de amarre	libra	0,1921		L 20,00	L 3,84
Total Materiales						L 222,66
Mano de Obra						
8	Albañil	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,67
9	Armador de hierro	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,67
10	Carpintero	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,65
11	Ayudante	JDR	0,1190		L 300,00	L 35,71
Total Mano de Obra						L 160,70
Herramienta y Equipo						
12	Herramienta menor	%	5,00%			L 8,04
Total Herramienta y Equipo						L 8,04
Total Costo Directo						L 391,40

Fuente: Elaboración propia

Ficha de costo de panel de ferrocemento esquinero 0.5x0.5m

Actividad:		Panel de ferrocemento esquinero 50x50 cm con varilla de hierro lisa de 1/4" y dosificación 1:4				
Cantidad:		1,00			Unidad: ml	
Nº	Descripción	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total
Materiales						
1	Cemento gris tipo Portland	bolsa	0,5530	3,00%	L 190,00	L 108,22
2	Arena de río lavada	m³	0,0233	7,00%	L 300,00	L 7,49
3	Agua	m³	0,0028	25,00%	L 25,00	L 0,09
4	Malla de gallinero	ml	0,5905		L 3,30	L 1,95
5	Varilla de hierro lisa de ¼	lance	2,2381		L 85,00	L 190,24
7	madera rustica de pino	pt	1,0390		L 25,00	L 25,98
8	Alambre de amarre	libra	0,2944		L 20,00	L 5,89
Total Materiales						L 339,86
Mano de Obra						
9	Albañil	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,67
10	Armador de hierro	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,67
11	Carpintero	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,65
12	Ayudante	JDR	0,1190		L 300,00	L 35,71
Total Mano de Obra						L 160,70
Herramienta y Equipo						
13	Herramienta menor	%	5,00%			L 8,04
Total Herramienta y Equipo						L 8,04
Total Costo Directo						L 508,60

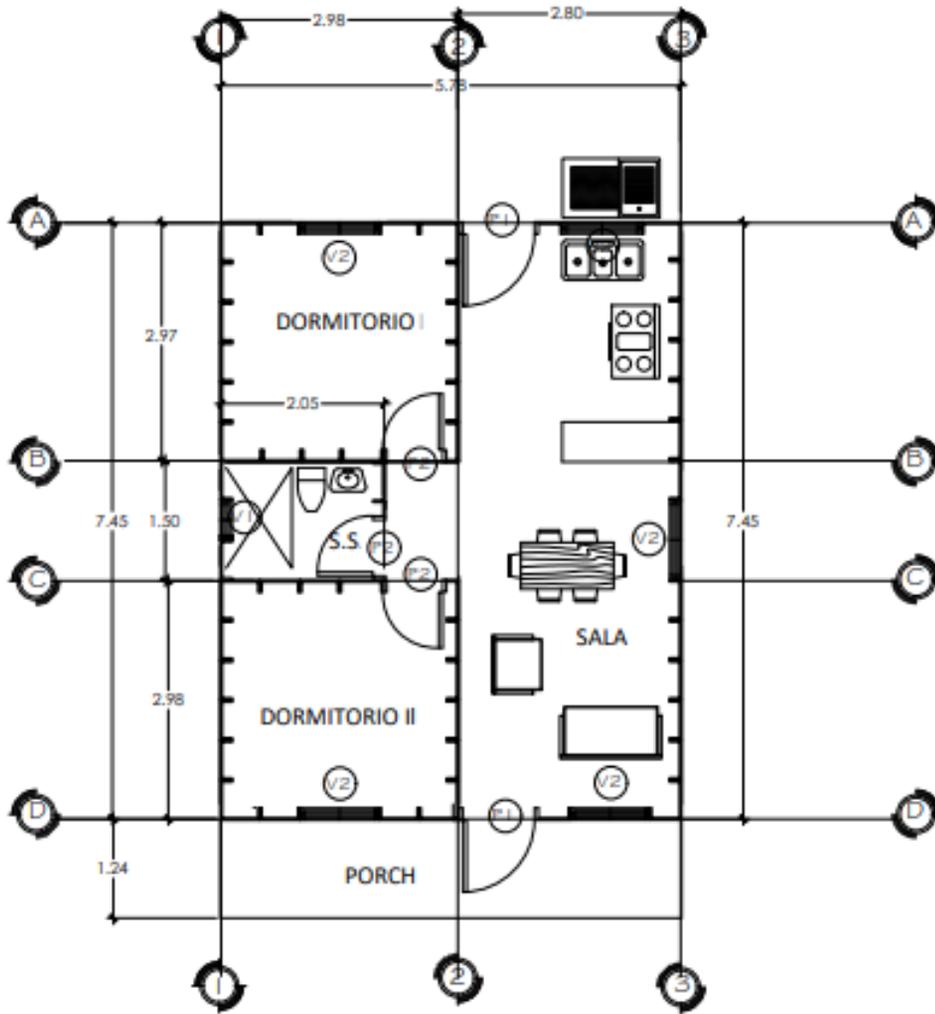
Fuente: Elaboración propia

Ficha de costo de panel de ferrocemento esquinero 0.3x0.4m

Actividad:		Panel de ferrocemento esquinero 30x40 cm con varilla de hierro lisa 1/4" y dosificación 1:4					
Cantidad:		1,00			Unidad:		ml
Nº	Descripción	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
Materiales							
1	Cemento gris tipo Portland	bolsa	0,4174	3,00%	L 190,00	L 81,68	
2	Arena de río lavada	m ³	0,2080	7,00%	L 300,00	L 66,77	
3	Agua	m ³	0,0021	25,00%	L 25,00	L 0,07	
4	Malla de gallinero	ml	0,4476		L 3,30	L 1,48	
5	Varilla de hierro lisa de ¼	lance	1,9238		L 85,00	L 163,52	
6	Madera rustica de pino	pt	1,0450		L 25,00	L 26,13	
7	Alambre de amarre	libra	0,2527		L 20,00	L 5,05	
Total Materiales						L 344,70	
Mano de Obra							
8	Albañil	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,67	
9	Armador de hierro	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,67	
10	Carpintero	JDR	0,1190		L 350,00	L 41,65	
11	Ayudante	JDR	0,1190		L 300,00	L 35,71	
Total Mano de Obra						L 160,70	
Herramienta y Equipo							
12	Herramienta menor	%	5,00%			L 8,04	
Total Herramienta y Equipo						L 8,04	
Total Costo Directo						L 513,44	

Fuente: Elaboración propia

PLANOS DE VIVIENDA DE
INTERÉS SOCIAL CON
PANELES DE
FERROCEMENTO



PLANTA ARQUITECTÓNICA

UNITEC
 VIVIENDA CON PANELES DE FERROCEMENTO

UBICACIÓN:
 MUNICIPIO DE CABARAS, LA PAZ
 DESCRIPCIÓN:
 PLANTA ARQUITECTÓNICA

DELLJO:
 THAMY MELGAR
 JOSÉ REYES

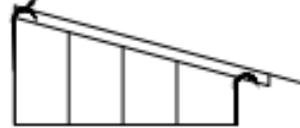
FECHA: 23/10/2025	HÓJ: 1/2
ESCALA: 1:500	



Traslape 1 cuadro mas 5 cm

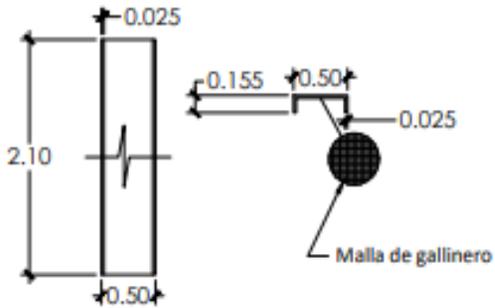
DETALLE DE TRASLAPE DE MALLA HEXAGONAL

Varilla $\frac{1}{2}$ " con soldadura directa a la canaleta

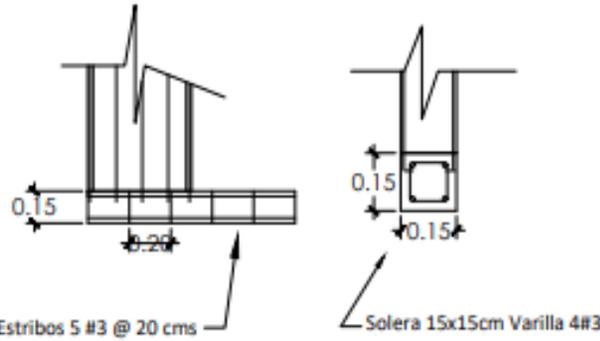


NOTA
Unidad:m
Varilla de hierro lisa $\frac{1}{2}$ "
Mortero 1:4
Malla de gallinero

DETALLE DE UNIÓN PARED - TECHO



DETALLE PANEL DE FERROCEMENTO



Estribos 5 #3 @ 20 cms

Solera 15x15cm Varilla 4#3

DETALLE DE UNIÓN PARED - SOLERA

UNITEC

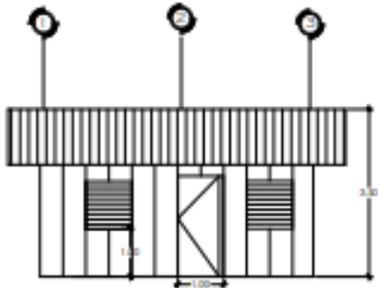
VIVIENDA CON PANELES DE FERROCEMENTO

UBICACIÓN:
MUNICIPIO DE CABARAS, LA PAZ
DESCRIPCIÓN:
PLANTA ARQUITECTÓNICA

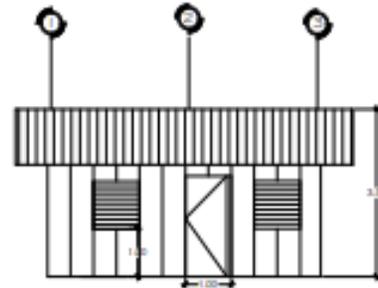
DIBUJÓ:
THAMY MELGAR
JOSÉ REYES

FECHA:
23/10/2020
ESCALA:
1/500

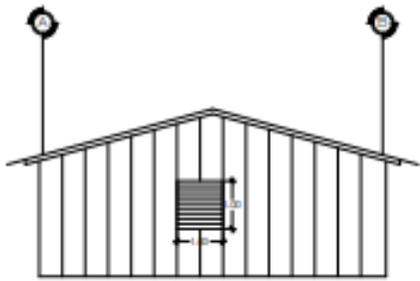
HOJA:
20



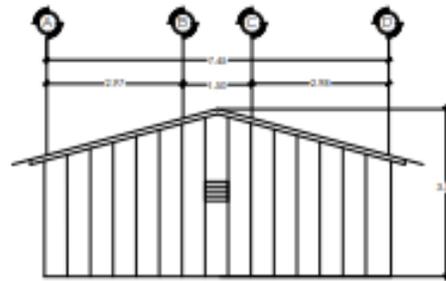
FACHADA FRONTAL



FACHADA POSTERIOR



FACHADA LATERAL DERECHA



FACHADA LATERAL IZQUIERDA

UNITEC

VIVIENDA CON PANELES DE FERROCEMENTO

UBICACIÓN:
MUNICIPIO DE
CABANAS, LA PAZ

DESCRIPCIÓN:
PLANTA ARQUITECTÓNICA

DESUÑO:
THAMY MELGAR
JOSÉ REYES

FECHA: 23/10/2020	HOJA: 20
ESCALA: 1/500	