

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN
ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA
DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA**

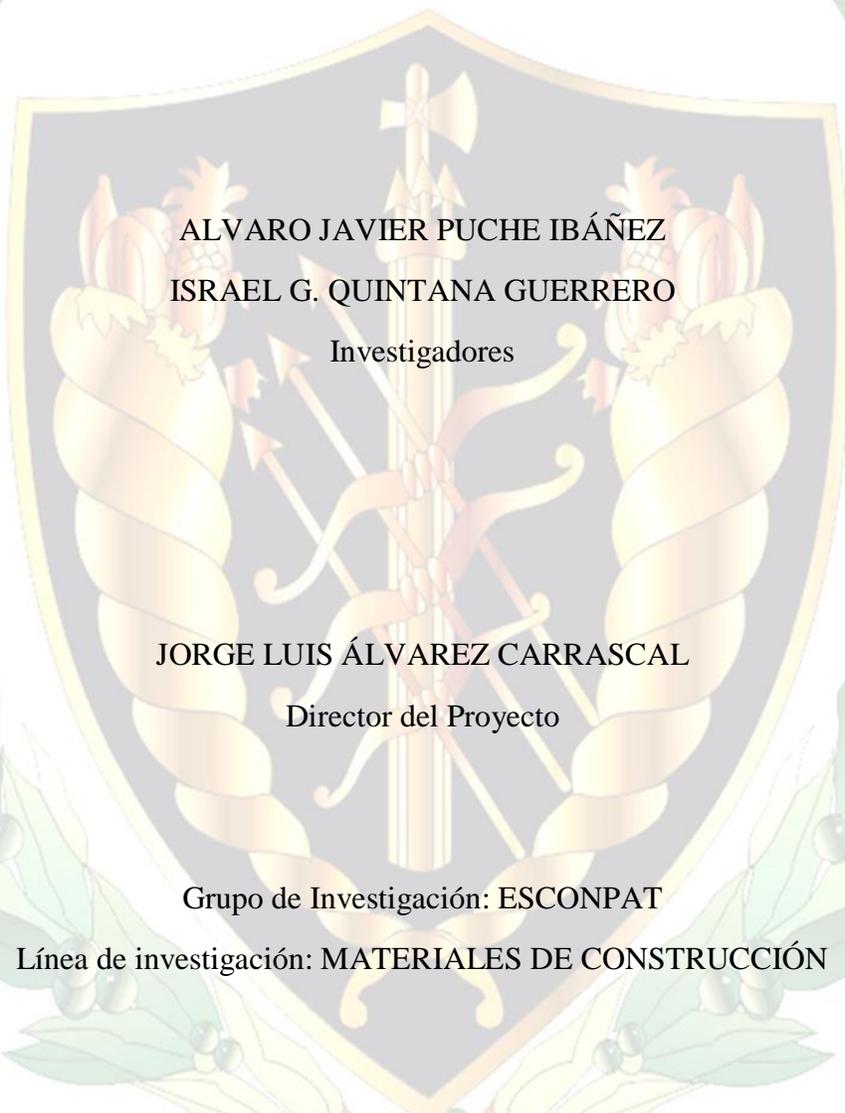
INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

**ALVARO JAVIER PUCHE IBÁÑEZ
ISRAEL G. QUINTANA GUERRERO**
Investigadores

REPUBLICA DE COLOMBIA 1827 UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

2016

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN
ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA
DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA



ALVARO JAVIER PUCHE IBÁÑEZ
ISRAEL G. QUINTANA GUERRERO
Investigadores

JORGE LUIS ÁLVAREZ CARRASCAL
Director del Proyecto

Grupo de Investigación: ESCONPAT

Línea de investigación: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

REPUBLICA DE COLOMBIA 1827 UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director
Ing. Jorge Álvarez Carrascal

Firma del Jurado
Ing. Jairo Alvis Ali

Firma del Jurado
Ing. Modesto Barrios Fontalvo

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

... A Dios, porque es él quien hace realidad los deseos y anhelos del hombre, y ha sido él quien permitió y brindó todo el conocimiento para que esta investigación fuese llevada a cabo.

A nuestros padres, por su apoyo, dedicación y motivación a lo largo de toda la carrera; estuvieron siempre al tanto de nuestro avance y pusieron todo de su parte en pro de alcanzar este logro juntamente con nosotros.

A Jorge Luis Álvarez Carrascal, Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por su colaboración y apoyo incondicional en el desarrollo de la misma.

A la Delineante de Arquitectura y Arquitecta en formación Diana P. Castro Nossa, por su asesoría y realización de los diseños arquitectónicos del proyecto de Viviendas de Interés Prioritario.

Al Ingeniero eléctrico y Especialista en Gerencia de Proyectos Informáticos Ángel A. Hurtado Sánchez, por su asesoría y diseño de la red de instalación eléctrica de la vivienda diseñada.

Y, a cada una de las personas que, directa o indirectamente, nos motivaron a mejorar en cada aspecto de nuestra vida secular y académica, y además contribuyeron a la realización de esta investigación.

... Dios los bendiga, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1 MARCO DE REFERENCIA.....	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Estado del Arte	11
1.2.1 Investigaciones Previas	12
1.3 Marco Teórico	18
Concreto Armado	18
Acero de Refuerzo	20
Ferrocemento	20
Cemento.....	29
Agregados	30
Diseño Estructural	31
Presupuesto de Obra	36
1.4 Marco Legal.....	39
Materiales	40
Análisis Estructural.....	40
Diseño Eléctrico.....	40
Fontanería y Diseños Hidráulicos.....	40

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

2	OBJETIVOS	42
2.1	General.....	42
2.2	Específicos.....	42
3	ALCANCES Y LIMITACIONES	43
3.1	Delimitación Espacial.....	43
3.2	Delimitación temporal	45
4	METODOLOGÍA.....	47
4.1	Recopilación de Información Secundaria	47
4.2	Técnicas de Análisis de la Información.....	48
4.3	Análisis de la Información.....	51
5	RESULTADOS	53
5.1	Caracterización del predio.....	53
5.2	Diseño del proyecto	53
5.3	Planteamiento Estructural de las Viviendas	54
5.4	Planteamiento de Redes Domiciliarias.....	56
5.5	Cantidades de obra.....	57
5.6	Cronograma de Ejecución	72
5.7	Presupuesto.....	73
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
8	ANEXOS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Malla expandida de Acero ES1 y ES2

Figura 2. Rangos Límites deseables del tamaño del Agregado

Figura 3. Sección típica del Panel de Ferrocemento.

Figura 4. Viviendas Estructuradas con Ferrocemento.

Figura 5. Montaje de prefabricados hechos con ferrocemento.

Figura 6. Ubicación del Campus de la Universidad de Cartagena en la ciudad de Cartagena

Figura 7. Campus de la Universidad de Cartagena Piedra de Bolívar.

Figura 8. Desglose de Inversión.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Especificaciones ASTM C33-86 para Agregado Fino.
- Tabla 2.** Volumen de Excavación de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 3.** Solado de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 4.** Concreto de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 5.** Acero de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 6.** Concreto de Columnas Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 7.** Acero de Columnas Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 8.** Concreto de Vigas Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 9.** Acero de Vigas Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 10.** Mampostería Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 11.** Cubierta Vivienda Hormigón Armado.
- Tabla 12.** Volumen de Excavación de Cimentación Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 13.** Solado de Cimentación Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 14.** Concreto de Cimentación Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 15.** Acero de Cimentación Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 16.** Mortero para elaboración de paneles de ferrocemento Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 17.** Mallas de Acero para refuerzo difuso en paneles Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 18.** Concreto de Vigas Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 19.** Acero de Vigas Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 20.** Cubierta Vivienda Ferrocemento.
- Tabla 21.** Presupuesto Vivienda en Hormigón Armado.
- Tabla 22.** Presupuesto Vivienda en Ferrocemento.
- Tabla 23.** Desglose de Inversión.



UNIVERSIDAD
DE
CARTAGENA



Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

RESUMEN

Uno de los actuales retos sociales, no sólo de Colombia, sino de la comunidad mundial, es el bienestar y mejora de las condiciones de vida de todos los habitantes del planeta. Aunque suene ambicioso o utópico, al desarrollar la presente investigación se quiso contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades afectadas por el abandono, especialmente los sectores sociales de estratos 0, 1 y 2.

El objetivo de esta investigación fue proponer un sistema constructivo para Viviendas de Interés Prioritario de bajo costo que constituya una alternativa válida, viable, resistente y segura, y así facilitar el acceso a una vivienda digna en países en vía de desarrollo, y en Colombia en particular.

Concordantemente con los objetivos de esta investigación, se diseñó un proyecto de construcción de 47 viviendas, posteriormente se diseñó la vivienda modelo arquitectónica y estructuralmente, para aplicar a esta vivienda un análisis presupuestal (cantidades de obra, análisis de precios unitarios); después de analizar los datos obtenidos y aplicados a cada uno de los sistemas constructivos (Concreto armado y Ferrocemento) en viviendas de interés prioritario respetando las normas vigentes concerniente a estos proyectos; se pudo constatar el hecho que el sistema constructivo en ferrocemento resulta más económico aplicándolo al mismo diseño arquitectónico, lo que quiere decir que en igualdad de condiciones, en términos de costos, resulta superior el sistema constructivo en ferrocemento.

ABSTRACT

One of the current social challenges, not only in our country, but of the world community, is the well-being and improvement of the living conditions of all the inhabitants of the planet. Though it sounds ambitious or Utopian, on having developed the present thesis it wanted to be contributed to the improvement of the quality of life of the communities affected by the abandon, especially the social sectors of stratum 0, 1 and 2.

The aim of this investigation was to propose a constructive system for Housings of Priority Interest of low cost that constitutes a valid, viable, resistant and sure, and in that way, the alternative will facilitate the access to a worthy housing in developing countries, and in Colombia especially.

Concordant with the aims of this investigation ,a construction project of the 47th housings had been designed, later an architectural and structural model had been designed to apply to this housing a budget analysis (quantities of work, analysis of unitary prices); after analyzing the information obtained and applied to each of the constructive systems (concrete assembled and Ferrocement) in housings of priority interest respecting the rules procedure relating to these projects; the fact is that the constructive system in ferrocemento turns out to be more economic applying to the same architectural design, which it wants to say that in equality of conditions, in terms of costs, the constructive system turns out to be top in ferrocement.

INTRODUCCIÓN

Es claro que la necesidad de una vivienda digna siempre ha estado presente y ha sido una prioridad del ser humano, problemática a la cual este ha dado sinnúmero de soluciones que van desde grandes soluciones habitacionales con espacios comunes y demás hasta viviendas aisladas unifamiliares, en términos de distribución espacial; además en términos de uso de materiales también existe gran variedad de aplicaciones de estos como lo son viviendas fabricadas en diferentes tipos de materiales orgánicos así también como roca y demás incluso hielo, esto evidencia la increíble capacidad del ser humano de resolver problemas con cualquier material que tenga a la mano, aprovechando sus características y sorteando las dificultades que pueda presentar. En la actualidad la capacidad de adaptación del ser humano a los diferentes medios lo ha llevado a hacer uso de determinado material, optimizando los recursos y herramientas existentes para así tener cada vez nuevas y mejores soluciones habitacionales obedeciendo a los diferentes medios en los cuales se implementen.

El nuevo desafío que enfrenta el ser humano actualmente es de proveer a cada persona de una vivienda digna, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional es un reto en términos de costos y tiempo en la ejecución de los proyectos, llevándolo a utilizar los materiales de construcción convencionales de formas nuevas y creativas, evolucionando en diferentes sistemas constructivos.

Gracias a esta continua evolución en tipos estructurales y materiales de construcción se han planteado nuevos sistemas constructivos aprovechando los materiales y técnicas existentes de los cuales nace el ferrocemento como sistema constructivo prefabricado, el cual es teóricamente aplicable a proyectos de soluciones habitacionales múltiples como es el caso de los proyectos de viviendas de interés prioritario en donde se usan grandes cantidad de áreas con edificaciones de características muy similares.

Aunque las especificaciones, características y técnicas del sistema constructivo lo hace teóricamente aplicable en proyectos de este tipo, es menester el desarrollo de una

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

investigación que compruebe de forma empírica, teniendo en cuenta las variables actuales en términos de costos y tiempos de ejecución de obra, el hecho de que la utilización de este sistema constructivo en este tipo de proyectos representa en alguna forma una alternativa ventajosa con relación a los sistemas tradicionales de construcción como los que son con base en hormigón armado, cuyo resultado demuestre que el sistema constructivo por paneles de ferrocemento es más ventajoso en términos de costos totales y tiempos de ejecución de obra; por tal motivo dicho sistema constructivo ha sido estudiado en diferentes aspectos como el estructural entre otros, en diferentes estudios, por ejemplo:

En el año 2005, el Doctor. Daniel Albeiro Bedoya Ruíz de la Universidad de Catalunya presenta la tesis "*Estudio de Resistencia y vulnerabilidad sísmica de las viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*" en la que se hace una amplia introducción al método constructivo con base en ferrocemento, detallando los materiales que lo conforman, su producción y finalmente su uso; además de probar experimentalmente la capacidad estructural que tienen las construcciones de bajo costo en este material frente a eventos sísmicos por medio del ensayo de modelos a escala real de esta. (Bedoya Ruiz, 2005)

En 2004, en la Universidad Austral de Chile, Carla Alejandra Barrientos Opazo presenta la tesis "*DISEÑO EN FERROCEMENTO DE UN EDIFICIO DESTINADO A VIVIENDA SOCIAL*", donde se presenta un nuevo proyecto que consiste en un edificio de tres pisos de vivienda social que fue diseñado en hormigón armado, el cual se toma como base para un nuevo diseño empleando un sistema modular de paneles y losetas de ferrocemento. (Opazo, 2004)

Investigaciones que sumadas a la realizada por Fernando Triana López en Colombia, en el año 1996 "*ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL UTILIZANDO EL FERROCEMENTO COMO MATERIAL ALTERNATIVO*" donde se lleva a cabo un análisis económico del uso de este material con su aplicación en la vivienda de interés social de acuerdo con los costos de la época y diferentes variables como los son

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

las normas vigentes en el año cuando se realizó, con el fin de compararlo con los sistemas tradicionales, sin tener en cuenta los tiempo de ejecución de obra. (Triana lopez, 1996).

Aspectos según los cuales se hace razonable, incluso necesario una actualización del estudio de tipo económico y logístico de este sistema de construcción aplicado a proyectos de vivienda prioritaria de acuerdo con los costos y normas de construcción actuales e incluyendo variables como las relacionadas con los tiempos de ejecución de obra. Esta investigación está ubicada, según la clasificación de la Universidad de Cartagena, en la línea de investigación de gerencia de proyectos al evaluar las variables de tipo económico y tiempo de ejecución de un proyecto de construcción en específico, y perteneciente al grupo de Investigación ESCONPAT del Programa de Ingeniería Civil.

1. MARCO DE REFERENCIA

Al hacer una comparación entre la cantidad de estudios publicados sobre el hormigón armado frente a la de publicaciones sobre ferrocemento se hace evidente el hecho de que estas últimas quedan rezagadas. En la labor de hacer una comparación entre ambos sistemas constructivos se hace completamente indispensable obtener publicaciones de ambos sistemas indistintamente para comprobar que tanto conocimiento se tiene de ambos.

1.1 ANTECEDENTES.

Los estudios de comparación de factibilidad económica y operativa de estructuras en ferrocemento y de hormigón armado son de suma importancia ya que estos presentan información de cuál de estos dos sistemas constructivos es mejor para un proyecto específico y además define factores determinantes al momento de realizar una edificación, tales como la comodidad y calidad ofrecida por la estructura para su uso preestablecido.

En la actualidad en Colombia se ha desarrollado un estudio previo a este acerca del tema en mención (Triana Lopez, 1996) donde se analiza en términos económicos el sistema de acuerdo a la época sin tener en cuenta como se ejecutaría el proyecto con este sistema constructivo, sin embargo, da grandes luces y sirve para tomar un punto referencia o de partida al respecto.

1.2 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad las investigaciones que tienen como objeto de estudio alternativas constructivas como solución a las posibles limitaciones presentes en los materiales existentes tradicionales y sus aplicaciones constructivas más comunes son abundantes y abordan el tema desde diferentes puntos de vista, gracias a esta cantidad de investigaciones relacionadas con la innovación en materiales y procesos constructivos es fácil comprobar con bases investigativas su capacidad técnica,

aplicabilidad operativa y rentabilidad financiera y hacen razonable la creación de un estudio que relacione estas soluciones constructivas innovadoras con diferentes tipos de construcciones como lo es la vivienda social.

1.2.1 Investigaciones Previas

Con anterioridad se han desarrollado estudios alrededor de las diferentes alternativas en materiales de construcción aplicados a diversos tipos de edificación comprobando, en la mayoría de los casos su capacidad técnica y competitividad desde el punto de vista operativo y económico.

A continuación, se presentan varias investigaciones referentes a la temática tratada y sus correspondientes resultados arrojados; así como, en algunos casos, las correspondientes recomendaciones con relación a la alternativa que representa:

- En 1996, Fernando Triana López publica el estudio “*ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL UTILIZANDO EL FERROCEMENTO COMO MATERIAL ALTERNATIVO*”. El trabajo consiste en hacer un costo estimativo de la construcción de vivienda de interés social en ferrocemento comparándolo con materiales tradicionales utilizados en este tipo de vivienda para determinar la viabilidad de su uso como alternativa en nuestro medio. Se obtiene conclusiones de un proceso donde se evalúa la aplicabilidad del ferrocemento en la construcción de vivienda de interés social en Colombia y se acumula experiencia en el manejo de este material. Los resultados evidencian la validez del ferrocemento como material aplicable en la construcción de vivienda de interés social en el país.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- En 2004, Lisette Marlene Santibáñez Barrientos opta por el título de constructor civil con la tesis “*CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SOCIAL DE ALTURA EN FERROCEMENTO*” en la Universidad Austral de Chile, tesis en la que define el ferrocemento como sistema constructivo aplicable a la vivienda social, sus materiales constituyentes, así como sus propiedades mecánicas y estructurales, tipos de elementos fabricados en este y sus métodos de fabricación además de una serie de generalidades, en una introducción detallada al material, a continuación se hace la secuencia constructiva de una edificación del tipo vivienda social de un, dos y tres niveles desde la cimentación hasta los acabados de la misma con la cual se alimenta un análisis económico de cada edificación. Como conclusión se evidencian las ventajas constructivas de este sistema aplicado a este tipo de estructuras, como son la versatilidad, facilidad de montaje, transporte, durabilidad entre otras que traduce en menor costo final de la misma en muchos aspectos. Este estudio se ve limitado al análisis de este material aplicado a construcciones del tipo vivienda social, sin comprobar su aplicabilidad en otros tipos de estructura ni su comparación con otros métodos constructivos.

- En 2004 Carla Alejandra Barrientos Opazo presenta la tesis “*DISEÑO EN FERROCEMENTO DE UN EDIFICIO DESTINADO A VIVIENDA SOCIAL*”, en la Universidad Austral de Chile, donde se presenta un nuevo proyecto que consiste en un edificio de tres pisos de vivienda social que fue diseñado en hormigón armado, el cual se toma como base para un nuevo diseño empleando un sistema modular de paneles y losetas de ferrocemento. Donde concluye entre

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

otras cosas que el proceso constructivo del muro de albañilería es bastante más complejo que el de ferrocemento, porque su proceso es más intensivo en mano de obra. Se trata de un sistema que comprende el bloque, el mortero de pega y la ejecución del pegado de bloques. La buena ejecución del muro es tremendamente importante para prevenir el problema de la humedad y que el sistema en paneles prefabricados de ferrocemento presenta la desventaja de necesitar equipos de transporte y montaje al ser empleado en edificaciones a partir de cierto tamaño. En este estudio no se presenta ningún aspecto económico de la construcción lo cual reduce su campo de aplicación al nivel constructivo, dejando por fuera cualquier conclusión de tipo económico al respecto.

- En el año 2005, el Doctor. Daniel Albeiro Bedoya Ruíz de la Universidad de Catalunya presenta la tesis "*ESTUDIO DE RESISTENCIA Y VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS VIVIENDAS DE BAJO COSTO ESTRUCTURADAS CON FERROCEMENTO*" en la que se hace una amplia introducción al método constructivo con base en ferrocemento, detallando los materiales que lo conforman, su producción y finalmente su uso; además de probar experimentalmente la capacidad estructural que tienen las construcciones de bajo costo en este material frente a eventos sísmicos por medio del ensayo de modelos a escala real de esta. Como resultado de estos ensayos se concluye que las estructuras en ferrocemento tienen una respuesta considerablemente buena frente a estos eventos pese al bajo costo que las mismas representan. Las limitantes del estudio son la ausencia de un análisis económico del método constructivo para estas estructuras, y de una comparación

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

de los resultados obtenidos con otro tipo de estructuras, ya sea en concreto armado o cualquier otro material.

- En 2006 Hugo Alberto Ortiz Montes publica la tesis *“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MATERIALES INNOVADORES Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA EJECUCIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES EN LA DECIMA REGION, BASÁNDOSE EN UN ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTO-CALIDAD”*, en la Universidad Austral de Chile, donde luego de exponer las especificaciones que dicta la legislación chilena en torno a la vivienda social, presenta los diferentes métodos constructivo que esta contempla, haciendo una introducción a cada uno de ellos, para continuación realizar un estudio en paralelo a nivel económico, técnico y operativo de cada uno de estos sistemas para la construcción de estructuras y acabados, con el fin de hacer una comparación entre todos. La conclusión a la que se llega es que los sistemas constructivos alternativos poseen una importante capacidad técnica, factibilidad operativa y rentabilidad económica, lo que los hace alternativas completamente viables para la construcción de viviendas sociales. El análisis que aborda este estudio es llevado a fondo y sus conclusiones son completamente aplicables siempre y cuando se aplique la legislación chilena, lo cual limita la investigación como tal a sus lineamientos.

- En el año 2009, David González Fraile realiza el estudio *“VIVIENDAS DE FERROCEMENTO: UNA OPORTUNIDAD PARA LA VIVIENDA SOCIAL. ESTUDIO SÍSMICO”*, en la universidad politécnica de Madrid, España; donde se describe en detalle el

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

método constructivo usando pantallas prefabricadas de ferrocemento comprobando la aplicabilidad de este en zonas de amenaza sísmica alta como por ejemplo el eje cafetero colombiano; llegando a la conclusión que estas estructuras presentan un buen desempeño técnica y habitacionalmente hablando con base a ensayos experimentales aplicados a módulos de vivienda social. No se realiza un análisis económico sobre el uso de este material, lo cual limita el estudio a nivel constructivo y operativo.

- En 2009, *La Revista De La Construcción*, en su volumen 8, publica el estudio del Doctor ANDRADE, M y el Magister CALLEALTA, F llamado “*EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MATERIALIDAD DEL SISTEMA ROYAL BUILDING VERSUS ALBAÑILERÍA CONFINADA DE LADRILLOS HECHOS A MÁQUINA UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES EN LA COMUNA DE COLINA*” donde se comparan dos conjuntos habitacionales existentes con sistemas constructivos diferentes entre sí, teniendo como base a la comparación de 20 aspectos técnicos de las estructuras entre los cuales está diseño estructural, resistencia al sismo, procedimiento constructivo, velocidad de construcción, rendimiento, cantidad de mano de obra y mantención; evaluados por expertos además de una serie encuestas realizadas a las habitantes de dichos conjuntos habitacionales; concluyendo que el Royal Building es un sistema viable, con respecto a la albañilería confinada de ladrillos, en la construcción de viviendas sociales, por sus características de ser liviano y rápido en el proceso de montaje, lo que hace bajar considerablemente los tiempos de obra. También por permitir

flexibilidad en el diseño de los proyectos por la diversidad de piezas y por la combinación con otros materiales. Este análisis es un caso específico de construcciones en un conjunto habitacional de este tipo, lo cual reduce la aplicabilidad de sus resultados a proyectos similares que utilizan dichos métodos constructivos.

- En el año 2011, Abraham Gerardo López Delgado y Juan Carlos Sánchez Ramírez, optando por el título de ingeniero civil, publican la monografía *“DISEÑO DE CISTERNAS DE FERROCEMENTO, ANALISIS ECONOMICO, CONSTRUCTIVO Y CUALITATIVO ANTE CISTERNAS DE HORMIGON ARMADO Y CISTERNAS PLASTICAS”*, en la Universidad de Cuenca, Ecuador; donde establecen una comparación detallada entre estas alternativas constructivas con base en su aplicación a un tipo de estructuras en específico, las cisternas; con este fin los autores diseñan los tanques estructuralmente haciendo uso de ciertos parámetros aplicables a estos, comprobando la capacidad técnica de cada alternativa, posteriormente usan estos datos para llevar a cabo, por medio de un análisis de costo unitario, una comparación económica entre las tres alternativas; y finalmente se concluye que la alternativa más viable para la construcción de este tipos de estructuras, desde el punto de vista técnico, constructivo y económico es en la que se usa el ferrocemento como material constitutivo. Aunque se hace una comparación detallada a varios niveles, el estudio se enfoca en construcciones del tipo cisterna lo que limita su aplicabilidad a este tipo de construcciones.

Todas las investigaciones ya mencionadas evidencian la alta importancia que tiene la temática escogida para realizar una investigación al respecto, ya que además de abordar la temática en sus diferentes aspectos dan un análisis detallado de cada sistema constructivo y su aplicabilidad en proyectos de construcción; y dejan un campo de estudio que necesita ser explotado, como lo es la comparación entre los sistemas constructivos en concreto armado y en ferrocemento a niveles operativo y económico en proyectos de vivienda social de acuerdo con la legislación colombiana.

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 Concreto Armado

Cuando se ahoga en el concreto una estructura metálica, de tal modo que ambos materiales, concreto-hierro, actúen juntos para resistir los esfuerzos, recibe este nombre equivalente a hormigón armado, la función principal del concreto es resistir los esfuerzos de compresión, y la función del hierro o acero de refuerzo es proporcionar la resistencia necesaria, cuando la estructura tiene que soportar los esfuerzos de tensión, tracción o fuerzas longitudinales. En la mayoría de los trabajos de construcción, el concreto se refuerza con armaduras metálicas, sobre todo de varillas de hierro. El hierro que se introduce en el concreto suele ser una malla de alambre o barras de hierro, las cuales pueden ser lisas o corrugadas. El concreto y el hierro forman un conjunto que transfiere las tensiones entre los dos elementos.

Entre los componentes del concreto reforzado (concreto y barras de refuerzo) es necesario que exista adherencia, de tal forma que ambos

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

materiales estén formando uno sólo. Cuando el refuerzo está adherido, los esfuerzos en el mismo varían a lo largo del elemento, ya que son proporcionales a la magnitud del momento flexionante. Cuando no hay adherencia entre el refuerzo y el concreto, el esfuerzo en el refuerzo es constante a lo largo del claro.

Los esfuerzos de adherencia se presentan siempre que existe una diferencia de tensión entre dos secciones de una varilla de refuerzo. La adherencia es la resistencia al deslizamiento del refuerzo y se origina de los fenómenos siguientes:

- Adhesión de naturaleza química entre el acero y el concreto.
- Fricción entre la varilla y el concreto, la cual se desarrolla cuando el hierro tiende a deslizarse.
- Apoyo directo de las corrugaciones de las varillas contra el concreto que las rodea.

En las varillas lisas solo se dan los dos primeros factores, por lo que no es recomendable la utilización de este tipo de varillas, ya que tiende a romperse la adhesión. Al no haber adhesión, la mayor parte de la fuerza de tensión pasa al concreto, absorbiendo la varilla esfuerzos de tensión muy pequeños.

Debido a que en una estructura de concreto armado, las varillas de refuerzo están sujetas a esfuerzos de tensión, mientras el concreto está sujeto a esfuerzos de compresión, resulta ineludiblemente un deslizamiento y por consiguiente la tendencia es a un rompimiento de la adherencia entre los dos materiales. Al incrementarse los esfuerzos de tensión en el hierro de refuerzo, se amplía la longitud del área que sufre deslizamiento, área en la cual se va deteriorando la adherencia entre ambos componentes. Por

consiguiente, la fricción desempeña un papel importante, si la varilla tiene una superficie muy lisa, tiende a salirse del concreto, dejando un agujero liso; si la superficie de la varilla de refuerzo es rugosa la fricción es mayor y hay mayor adherencia y si hay falla, será por fractura del concreto. En el caso de varillas de hierro corrugadas, la adhesión es mayor, ya que las corrugaciones reaccionan contra el concreto, evitando el deslizamiento.

En todo caso, el evitar una falla por falta de adherencia dependerá de la clase de concreto, el recubrimiento y el diámetro del hierro de refuerzo, así como de la longitud de anclaje y la longitud de traslape necesaria.

1.3.2 **Acero de Refuerzo**

Las varillas de refuerzo, que generalmente se conoce como hierro de refuerzo o varillas de hierro, se fabrican de lingotes de acero en varios grados, y también volviendo a laminar ríeles viejos, esto se hace tanto en caliente como en frío.

Los números de varillas de hierro más usados varían del No. 2 al No. 12, los cuales corresponden a los diámetros de $\frac{1}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ ". Todas las varillas con excepción de $\frac{1}{4}$ " tienen corrugaciones. Las corrugaciones que se forman en la superficie de las varillas de acero al laminarlas, sirven para aumentar la adherencia entre el acero y el concreto. La forma de las corrugaciones varía con respecto al fabricante. La sección estándar de las varillas es circular, y estas se nombran como se dijo anteriormente por números que van del No.2 al No.12, los cuales corresponden al diámetro de la varilla en octavos de pulgadas.

1.3.3 **Ferrocemento**

Se le denomina al material compuesto hecho de una capa delgada de mortero de cemento y reforzado en su interior con capas de malla continuas

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

de barras de pequeño diámetro (como un emparrillado), que se distribuyen uniformemente en toda su sección transversal, ligado internamente para crear una estructura rígida, la cual funciona a manera de membrana, con una distribución uniforme de los esfuerzos a los que es sometido. En las estructuras de ferrocemento el refuerzo consiste en una malla de alambre electrosoldada, de pequeño diámetro. Esto actúa como armadura difusa y reforzada con mallas de alambre flexible, para que la distribución sea uniforme en todo el elemento.

Wang et al., define al ferrocemento como un tipo de pared delgada de concreto reforzado construido con morteros de cemento hidráulico reforzado con capas espaciadas estrechamente de mallas continuas de alambre de tamaño relativamente pequeño; en su papel como producto de concreto delgado y como compuesto laminado basado en cemento, el ferrocemento ha encontrado numerosas aplicaciones en nuevas estructuras y en la reparación y rehabilitación de estructuras existentes. Comparado con el concreto reforzado convencional, el ferrocemento es un reforzado en dos direcciones, entonces, tiene propiedades isotrópicas homogéneas en dos direcciones. (Wang, 1997).

El ferrocemento ofrece las siguientes ventajas técnicas (Saavedra, 2000):

- Sus partes y piezas, mediante modulación, pueden ser livianas y fáciles de transportar.
- Cada uno de sus componentes se basa en unidades estandarizadas.
- Permite la utilización de sistemas mixtos, en donde el ferrocemento puede ser usado con otros materiales.
- Permite mediante la conformación de los paneles de muros y tabiques, que todas las instalaciones queden en su interior, pudiéndose conformar paneles sanitarios.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- Permite distintos tipos de terminaciones y texturas interiores como exteriores.
- Satisface en general las normas y estándares nacionales e internacionales.
- Permite la prefabricación y la industrialización por medios avanzados.
- No necesita prácticamente mantenimiento alguno, salvo la de agentes externos que ocasionen daños a los recubrimientos, tales como las pinturas.
- Facilidad de mantenimiento a bajo costo, sin mano de obra calificada.
- Buena resistencia al agrietamiento, lo que aumenta su impermeabilidad y resistencia a la corrosión.
- Buena resistencia a agentes mecánicos.
- Presenta excelentes condiciones de habitabilidad y comodidad, considerando su buen aislamiento térmico, acústico, resistencia al impacto, al fuego, a la abrasión e infiltración.
- Permite la incorporación de elementos estructurales tensados, disminuyendo secciones en los elementos mixtos.

Los componentes del ferrocemento son:

- *Acero de Refuerzo*; constituida por alambres de pequeños diámetros, formando mallas con espaciamiento pequeño, las cuales se distribuyen uniformemente dentro del mortero. Las más comunes de las mallas, son la malla gallinero hexagonal con abertura de una pulgada o algunas mallas electrosoldadas. La función principal de estas mallas es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado

endurecido, que el mortero por sí solo no podría resistir. Generalmente, consiste en alambres delgados, ya sean entretejidos o soldados, una de las características importantes es que sea lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas; debe introducirse el suficiente acero de refuerzo para absorber los esfuerzos producidos por los golpes, torceduras y dobleces. El comportamiento mecánico del ferrocemento depende en gran parte del tipo, cantidad, orientación y propiedades de la resistencia de la malla y de la varilla de refuerzo.

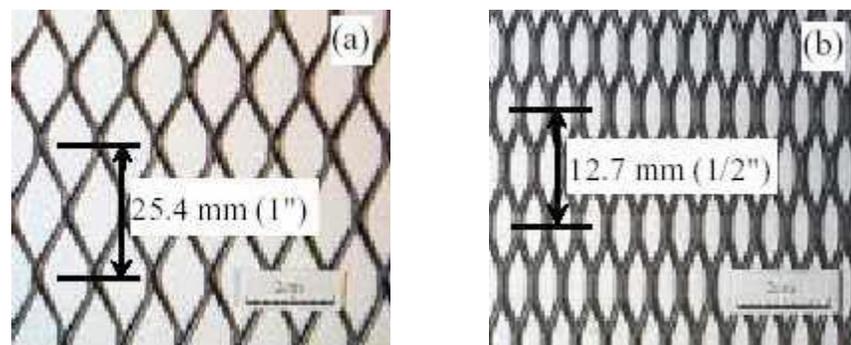


Figura 1. Mallas expandidas de Acero ES1 y ES2 respectivamente. Fuente: (Zúñiga & Salcedo, 2008)

- *Acero de Armazón;* sirve de esqueleto, sobre la cual se colocan las capas de malla; se distribuyen uniformemente y se separan hasta una distancia de 30 cm, generalmente no son tratadas como refuerzo estructural, sino que se les considera como soporte de la malla de refuerzo. El tamaño de la varilla varía entre $\frac{1}{4}$ " y $\frac{3}{4}$ ", la de mayor uso es de $\frac{1}{4}$ ". Puede combinarse varillas de diferentes diámetros dependiendo del tipo de estructura.

Este refuerzo de armazón se necesita para construir el molde de la forma de la estructura a ser construida, alrededor del cual las capas de mallas son después sujetas (generalmente por ambos lados). El uso de acero como armazón, cuando el espesor del ferrocemento lo permita, puede resultar muy efectivo en cuanto a costos. La armadura actúa como un separador, conduciendo a ahorros en número de capas de malla. Esta también contribuye significativamente al aumento de tensión y resistencia del cortante por punzonamiento del ferrocemento. Mientras que la armadura no adiciona mucho a la superficie específica del refuerzo (importante para el control de fisuras), sí puede contribuir con importancia a la resistencia a flexión, aunque menos efectivamente porque es generalmente colocada en la mitad de la sección.

- *Agua;* deberá ser fresca y limpia, en ningún caso se empleará agua de mar ni similar. La calidad del agua para mezclar el mortero es de vital importancia para el ferrocemento endurecido resultante, las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento y afectar adversamente la resistencia o provocar manchado en la superficie, causando florescencias y asimismo originar la corrosión del refuerzo. En ningún caso debe usarse agua de mar, generalmente el agua de servicios públicos está considerada apta y no requiere ningún tratamiento adicional. También se debe tener en cuenta que la resistencia del mortero es inversamente proporcional a la relación agua – cemento; así que la proporción en peso recomendable para estructuras como tanques de reserva de ferrocemento es de 0,3 a 0,4, es decir lo más bajo posible para darle calidad y trabajabilidad.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- *Mortero*; es la mezcla de cemento, arena y agua. Se debe emplear una dosificación no menor a una parte de cemento por 1,5 a 2 partes de arena y 0,3 partes de agua. Los agregados utilizados para la producción de mortero de alta calidad para estructuras de ferrocemento deben ser fuertes, impermeables, libres de sustancias perjudiciales tales como polvo, terrones, pizarras, esquistos, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas, y deben ser capaces de producir una mezcla suficientemente trabajable con una relación agua cemento mínima para lograr la penetración adecuada en la malla.

El agregado normalmente a usar es la arena natural, debe tenerse mucho cuidado en la selección de dichas arenas, ya que las arenas blandas pueden verse seriamente afectadas por la abrasión y las reacciones químicas. Un material poroso permitirá la entrada de humedad dentro de secciones muy delgadas afectando la durabilidad y el comportamiento estructural del mortero.

La granulometría de las partículas de arena deberá ser preferentemente continua, cumpliendo en lo posible con la especificación C33-86 de la norma ASTM para los agregados de concreto, como se muestra en la tabla 1.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

Tamiz		Porcentaje que Pasa
Normalizado	Milímetros	
3/8"	9,50 mm	100
No. 4	4,75 mm	95 - 100
No. 8	2,36 mm	80 - 100
No. 16	1,18 mm	50 - 85
No. 30	0,59 mm	25 - 60
No. 50	0,295 mm	10 - 30
No. 100	0,147 mm	2 - 10

Tabla 1. Especificaciones ASTM C33-86 para agregado fino.

Fuente: (Zúñiga & Salcedo, 2008). Modificado por Autores.

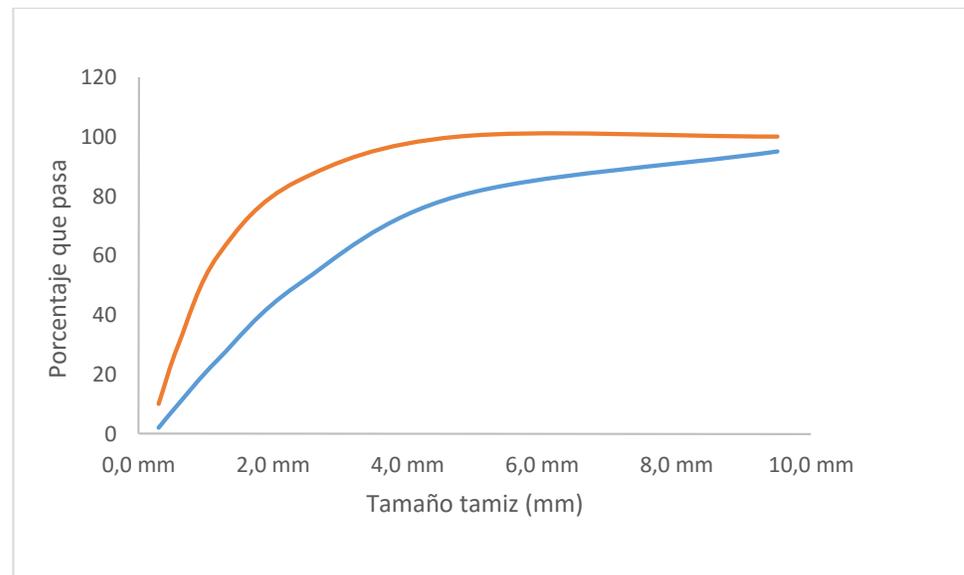


Figura 2. Rangos límites deseables del tamaño del agregado

Fuente: (RURAL, 2003). Modificado por Autores.

El ferrocemento se compone de láminas de mortero que tienen un espesor de 2 a 5 Cm., y se refuerza con mallas de alambre, fibras de vidrio u otro material sintético, de 6 mm, como máximo, de diámetro; este mortero debe ser de alta calidad, tener resistencias superiores a los 25 MPa y una

impermeabilidad superior a la del concreto convencional. Esta impermeabilidad se logra usando arena con preponderancia de partículas redondeadas y con granulometrías adecuadas; la arena significa del 60 al 70 % del volumen total, y es vital se adecuada composición granulométrica, en términos generales, las arenas deben cumplir criterios universales para la elaboración de una matriz resistente e impermeable, por lo tanto, se requiere que sean materiales inertes, con limitaciones del 3% en el contenido de finos, y con densidades masivas de moderadas a altas. El tamaño máximo del agregado dependerá de la dimensión del recubrimiento, pero por lo general no se recomienda que sea superior a 2,8 mm. En cuanto al cemento, es factible la utilización de cemento de uso general o cemento con adiciones puzolánicas; los contenidos de cemento están alrededor de 600 Kg/m^3 de mezcla.

Los paneles de ferrocemento reforzados pueden ser fabricados en forma eficiente con moldes planos y reutilizables: las líneas predeterminadas de pliegues no son cubiertas con mortero durante este proceso y actúan efectivamente como bisagras durante el plegado. Aquí la malla metálica de refuerzo admite manipulaciones y curvaturas, permitiendo que las placas planas puedan ser plegadas como origami en una estructura dimensional. Finalmente, después de haber sido dobladas, las uniones abiertas se cubren con mortero, (Zúñiga & Salcedo, 2008)

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA



Figura 3. Sección típica del Panel de Ferrocemento. Fuente: (Ruiz, 2005)



Figura 4. Viviendas Estructuradas con ferrocemento. Fuente: (Ruiz, 2005)



Figura 5. Montaje de prefabricados hechos con ferrocemento. Fuente: (Andrea Jaramillo, 2010)

1.3.4 **Cemento**

Se describe como un material con propiedades adhesivas y cohesivas las cuales dan la capacidad de aglutinar otros materiales para formar un todo, sólido y compacto. En nuestra especialidad, que es ramo de la construcción, el término cemento lo entendemos como el material que aglutina a otros siendo éstos: piedras, tabiques o bloques, grava y arena para, de esta manera, formar un concreto.

El uso de este material se remonta a la antigüedad. Desde la época de los egipcios, griegos y romanos, se aprendió a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada, por lo que se puede decir que este tipo de producto, fue el primer concreto en la historia.

Actualmente, tenemos perfectamente establecido el uso del cemento, siendo el más común el denominado Portland.

El cemento se obtiene a partir de la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos, así como de otros que contengan sílice, aluminio y óxidos de hierro.

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1400° C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente formando bolas conocidas como Clinker que, cuando se enfría el material, se trituran hasta obtener un polvo fino al que se le añade un poco de yeso para obtenerse, como producto final, el cemento Portland, el que es usado en todo el mundo en la actualidad.

1.3.5 **Agregados**

Constituyen del 60 al 80 por ciento del volumen del concreto. Como áridos o materiales inertes, ya sea finos o gruesos, pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de la trituración de piedra que reúnan en igual o superior grado, las características que se le exijan al concreto diseñado o proyectado. No conviene emplear áridos que procedan de rocas calizas blandas, ya que son solubles y expuestas a fisuras por acciones del agua; feldespato, porque son rocas cristalizadas de color blanco o rosa, que expuestas al agua se descomponen lentamente, quedando convertidas en base arcillosa; yesos, por ser solubles al agua; piritas, por ser rocas escamosas que tienden a resquebrarse; rocas friables, por ser rocas con muchas fisuras que tienden a desmoronarse; y ni rocas porosas, por tener poca resistencia.

- *Agregado fino*; se considera al material que cumple las especificaciones ASTM C-3. Debe ser arena de río lavada, sus granos deben pasar tamiz de 3/8" y del 30% al 50%, pasar al tamiz No.4. No debe contener sustancias nocivas e impurezas orgánicas. Cuando estas impurezas originen un color más oscuro que el normal aprobado en una muestra representativa, será causa suficiente para que sea rechazado.

- *Agregado grueso*, puede ser de grava limpia o roca triturada que se ajuste a los requerimientos ASTM C-33. Se recomienda que tenga una dimensión mínima de 1½" para cimientos y ¾" para piezas estructurales. El agregado estará exento de álcalis solubles en agua y sustancias que puedan generar expansión en el concreto a causa de su reacción con los álcalis del cemento.

1.3.6 **Diseño Estructural**

Se le llama al conjunto de actividades a desarrollar para determinar las características físicas de una estructura, de tal manera que nos permita garantizar la absorción de las cargas a las que ésta va estar sujeta en las diferentes etapas de vida útil, sin sufrir daño alguno; es decir, la función adecuada de una estructura en condiciones de servicio.

A una obra determinada la debemos concebir como un sistema global, el cual, a su vez, está integrado por un conjunto de subsistemas que se deben combinar en forma precisa para cumplir con la función a la que fueron destinados.

Todos estos subsistemas deben interactuar de tal manera que en el diseño tomen en cuenta la relación existente entre ellos y así, poder lograr el objetivo final del diseño estructural, el cual es: producir estructuras que den

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

un mejor rendimiento, es decir, que sean seguras y económicas. El diseño estructural es un proceso compuesto, el cual sigue una secuencia lógica como se explica a continuación:

- *Estructuración*; en esta fase del diseño se seleccionan los materiales que compondrán la estructura para poder conocer el peso de la misma y sus resistencias, así como la forma general de ésta, es decir, el tipo de estructura que en particular esa obra requiere o debe tener. En esta etapa se necesita que el proyectista tenga un grado de experiencia y conocimientos de la teoría estructural, ya que es necesario realizar el llamado predimensionamiento de los elementos que constituirán la estructura.
- *Análisis*; dentro de la actividad se tendrá que determinar la respuesta de la estructura ante las diferentes acciones a las cuales será sometida y, para realizar esta etapa, será necesario considerar lo siguiente:
 - A. Modelar la estructura: Aquí se idealizará la estructura por medio de un modelo teórico factible de ser analizado mediante los procedimientos y métodos conocidos de análisis estructural. Para ello es necesario establecer las propiedades de los materiales y características geométricas de las secciones. Podemos mencionar también algunos modelos clásicos, los cuales se emplean en la modelación de estructuras como puentes, edificios, etc. Ejemplos de estos modelos son: vigas, columnas, losas, armaduras, cables, etc., los cuales combinados, forman marcos, vigas continuas, etc.

- B. Determinación de las acciones de diseño: En esta parte del análisis se determinan las acciones que obrarán en la estructura y para ello será necesario conocer los sistemas constructivos, la ubicación de la estructura y, en general, toda la información que ayude a la determinación de las solicitaciones que puedan, eventual o permanentemente, actuar sobre la estructura, ya que de esta manera podemos obtener el mayor grado de aproximación en la valuación de las acciones. Es obvio que tendremos que recurrir a los códigos y reglamentos existentes en el medio.
- C. Determinación de los elementos mecánicos de diseño: Aquí se aplican los diferentes procedimientos y métodos de cálculo para la obtención de las fuerzas internas, o elementos mecánicos, tales como las fuerzas axiales, los cortantes, los momentos flexionantes y de torsión a los que van a estar sometidos los diferentes componentes de la estructura (muros, vigas, columnas, etc.). Cabe hacer una aclaración; al aplicar los métodos de cálculo, se obtendrán resultados exactos, pero sólo para el modelo teórico elegido, no así para la estructura real; de ahí la importancia de evaluar adecuadamente las acciones y el modelo que la estructura en cuestión tendrá.
- *Dimensionamiento*; en esta etapa se obtienen las dimensiones correspondientes al detallar los elementos estructurales conforman la estructura, además de verificar si ésta cumple con los requisitos de seguridad establecidos. Estos resultados se vacían en los planos

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

constructivos definiendo en ellos las especificaciones correspondientes.

Es importante resaltar la necesidad de transmitir adecuadamente a los constructores la información de los resultados obtenidos, en forma clara, precisa y sencilla; es decir, los planos deberán contener toda la información procurando que ésta sea lo más detallada posible sin olvidar nada, de tal forma que se pueda entender y la obra pueda desarrollarse según el criterio con el cual se desarrolló el proyecto. Una vez que el proyecto está terminado, el siguiente paso es la construcción del mismo, pero en esta fase se tendrá especial cuidado con un aspecto que es fundamental para lograr la calidad de la obra esperada. Este aspecto es la supervisión, ya que ésta será responsable de la buena ejecución de los trabajos a desarrollar al vigilar y controlar que se cumplan todas las especificaciones y normas que del proyecto resultaron. Es común que en esta última etapa existan descuidos, por lo que debemos ser extremadamente escrupulosos en la verificación del cumplimiento del proyecto en lo tocante a la calidad de los materiales y la propia obra. Una etapa final es la puesta en servicio, ya que es la culminación de los objetivos que inicialmente se marcaron.

- *Análisis Estructural*; procedimiento que lleva la determinación de la respuesta del sistema estructural ante la sollicitación de las acciones externas que puedan incidir sobre dicho sistema. La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una acción determinada; está en función de sus propias características y puede

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

expresarse en función de deformaciones, agrietamiento, vibraciones, esfuerzos, reacciones, etc.

Para obtener dicha respuesta requerimos considerar los siguientes aspectos:

A. Idealización de la estructura, seleccionar un modelo teórico y analítico factible de ser analizado con los procedimientos de cálculo disponible. La selección del modelo analítico de la estructura puede estar integrado de las siguientes partes:

- *Modelo geométrico*. Esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.
- *Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras*. Debe establecerse como cada elemento está conectado a sus adyacentes y cuáles son las condiciones de apoyo de la estructura.
- *Modelo del comportamiento de los materiales*. Debe suponerse una relación acción - respuesta o esfuerzo - deformación del material que compone la estructura.
- *Modelo de las acciones impuestas*. Las acciones que afectan la estructura para una condición dada de funcionamiento se representan por fuerzas o deformaciones impuestas.

- B. Determinación de las acciones de diseño, ya que no basta una buena esquematización de la estructura a construir, sino que también es necesaria la escogencia de las diferentes acciones a la cual, según el uso y tipo de estructura, se verá expuesta esta para así continuar con el proceso de análisis.
- C. Determinación de la respuesta a las acciones de diseño en el modelo estructural escogido, y como resultado de las acciones impuestas al modelo estructural concebido aparecen las diferentes respuestas de este antes estas acciones, las cuales son de diversas tipologías según la acción que se presente
- D. Dimensionamiento, y finalmente el proceso de análisis está completo con la concepción de los elementos constituyentes de la estructura, tal que sean capaces de responder eficientemente y en conjunto a las acciones interpuestas a la misma.

Es muy importante determinar las acciones de diseño, pues en muchas situaciones las cargas y otras acciones que introducen esfuerzos en la estructura están definidas por los reglamentos de las construcciones y es obligación del proyectista sujetarse a ellos.

1.3.7 **Presupuesto de Obra**

Es la determinación previa de la cantidad en dinero necesaria para realizar una obra, a cuyo fin se tomó como base la experiencia adquirida en otras construcciones de índole semejante. La forma o el método para realizar esa determinación es diferente según sea el objeto que se persiga con ella.

Cuando se trata únicamente de determinar si el costo de una obra guarda la debida relación con los beneficios que de ella se espera obtener, o bien si las disponibilidades existentes bastan para su ejecución, es suficiente hacer un presupuesto aproximado, tomando como base unidades mensurables en números redondos y precios unitarios que no estén muy detallados. Por el contrario, este presupuesto aproximado no basta cuando el estudio se hace como base para financiar la obra, o cuando el constructor la estudia al preparar su proposición, entonces hay que detallar mucho en las unidades de medida y precios unitarios, tomando en cuenta para estos últimos no sólo el precio de los materiales y mano de obra, sino también las circunstancias especiales en que se haya de realizar la obra. Esto obliga a penetrar en todos los detalles y a formar precios unitarios partiendo de sus componentes.

- *Cantidades de Obra*; son todas aquellas cantidades de materiales que involucran los costos de una determinada obra, dichas cantidades están medidas en unidades tales como: metros cúbicos, metros lineales, metros cuadrados, quintales, libras, kilogramos y otras unidades. De los cuáles dependerá en gran parte el presupuesto.
- *Análisis de Precios Unitarios*; es estudio unitario previo que se hace para conocer los valores unitarios de cada procedimiento que se deba realizar en obra.

Para lograr un congruente y óptimo aprovechamiento en el análisis de precios unitarios, es necesario desglosar el costo por sus integrantes los cuales se dan en el diagrama general de balance de una obra. El análisis consiste en desglosar en tres grandes grupos, materiales, mano de obra y equipos, así:

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- A. Materiales: La lista de materiales a emplearse en un ítem, se encuentra ordenada en base al requerimiento, pudiendo extraerse de una revista de presupuestos de obra, o del conocimiento del profesional constructor, sin embargo, es bueno optar por las revistas o costos municipales a la hora de inscribir el precio del material, ya que se encuentran en constante actualización, en otro caso podrá realizarse un estudio de mercado, para garantizar que el precio del material expuesto sea el correcto.
- B. Mano de Obra: Se refiere al grupo de obreros que se contratara para la construcción del ítem de manera unitaria, aplicando el rendimiento en horas de cada uno de ellos, hasta finalizar el rubro (estos datos fueron tomados por profesionales, que con el tiempo pudieron obtener un dato medio real de la demora), posteriormente se dará parte a añadir el porcentaje de incremento por beneficios sociales a la hora de hacer contrataciones a largo plazo, la planilla muestra un 37% como dato real, pudiendo ser modificado por el proyectista, con valores reales de seguros.
- C. Maquinaria, Herramientas y Equipo: Una vez colocado el listado de equipos y herramientas necesarias, se procede a cuantificar el valor de su adquisición real, logrando obtener mediante esta planilla una relación de desgaste de los mismos por hora trabajada, lo que sucederá también, con maquinaria

contratada, que funcionará de acuerdo a requerimiento, hasta la finalización del ítem unitario.

Lo más importante de un Análisis de Precios Unitarios es fijar el rendimiento de la obra, o sea la cantidad de obra que se ejecutará en un día o por la unidad de medida. Este parámetro es el más importante ya que todos los términos gravitarán en torno a este concepto ya que se define como unidad para cada partida el Costo dividido entre el rendimiento.

1.4 MARCO LEGAL

Para establecer un marco legal congruente con el desarrollo de la investigación realizada, esto es que abarque todos los aspectos que se presenten en ella, es necesaria delimitar los diferentes planos en los que la investigación se mueve, de los generales a los más específicos, en este orden de ideas se describe cada temática y las respectivas normas vigentes al respecto como los son los diferentes diseños aplicables a las construcciones de uso residencial y proyectos de tipo masivo.

Primeramente, todos los procedimientos que han de desarrollarse en la investigación son de tipo constructivo, entre los cuales está el diseño arquitectónico, estructural y las diferentes instalaciones que conforman una edificación determinada, de acuerdo con esto en términos generales están sujetos a la siguiente normativa:

1.4.1 Materiales

Aunque se presenta un sistema constructivo poco tradicional en el país esto no quiere decir que los materiales constitutivos de los elementos diseñados, contruidos y evaluados, concebidos en este sistema no se encuentren

reglados por en alguna norma nacional, por lo cual cabe resaltar que los diferentes materiales considerados en la investigación respetan los estándares de calidad y especificaciones técnicas que se describen en las Normas Técnicas Colombianas (NTC) aplicables a cada uno respectivamente, por tanto se supone la calidad de los mismos.

1.4.2 **Análisis estructural**

Todas las consideraciones de tipo estructural que están consignadas en la investigación, como los son análisis de y combinación de cargas, calidad, tipo y especificaciones técnicas de los materiales, predimensionamiento, ubicación y diseño de elementos estructurales, y demás consideraciones en términos estructurales; están sujetas a la Norma de Construcción Sismo Resistente Colombiana en su versión 2010 (NSR 10) y obedece a todos sus comentarios y recomendaciones.

1.4.3 **Diseño eléctrico**

Todas las consideraciones para el diseño de las instalaciones de tipo eléctrico consignadas en la investigación están sujetas a la al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE 2013) y por lo tanto todas las instalaciones eléctricas contempladas cumplen con este estatuto.

1.4.4 **Fontanería y diseños hidráulicos**

Todo tipo de diseño hidráulico necesario para el buen funcionamiento de las viviendas en estos términos debe ser concebido de acuerdo al Código Colombiano de Fontanería (NTC 1500) obedeciendo a cada uno de sus lineamientos.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

Estos son los reglamentos básicos que se tuvieron en cuenta en la concepción de las unidades básicas de viviendas que conforman el proyecto, adicionalmente se consideraran los siguientes documentos que también establecen especificaciones necesarias en esta investigación como son las siguientes:

- *“Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social”*, donde se establece a detalle los aspectos considerados en la concepción de proyectos que involucren VIS o VIP en términos legales. Dividida en 4 cartillas:
 1. Calidad en la Vivienda de Interés Social.
 2. Los materiales en la construcción de vivienda de interés social.
 3. Las normas aplicables en el desarrollo de vivienda de interés social.
 4. Procedimientos en Vivienda de Interés Social.

- Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad (POT), también se establecieron las especificaciones espaciales (Ubicación, extensión, accesibilidad, etc.) del proyecto a desarrollar de acuerdo a los usos de suelo que se consideran en este, según las zonas urbanizables consideradas en él con el fin de establecer un escenario más realista en términos territoriales para la investigación.

- Otros documentos de orden legal, además de la documentación descrita también se consideraron otros documentos con son especificaciones técnicas solicitadas para proyectos de construcción, mejoramiento y acondicionamiento de VIS y VIP efectuados en diferentes ciudades del país con el fin de tener como referencia estos proyectos.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Determinar la viabilidad económica y operativa del uso de ferrocemento en la construcción de viviendas de interés prioritario, frente al uso de hormigón armado, a través de un análisis comparativo de costos directos y tiempos de ejecución, luego de aplicar ambos sistemas constructivos a un mismo proyecto con el fin de presentarlo como una alternativa de calidad a costos razonables para brindar viviendas que cuenten con las condiciones mínimas de habitabilidad.

2.2 Específicos

- Determinar las especificaciones que deben tener este tipo de proyectos según la legislación colombiana.
- Caracterizar ambos sistemas constructivos; definiendo materiales utilizados, tiempo y costos de estos.
- Realizar una comparación de tiempos y costos de ejecución entre los dos sistemas constructivos teniendo en cuenta cada uno de los resultados obtenidos y las variables de estudio.
- Presentar uno de estos sistemas constructivos como mejor opción al momento de ejecutar proyectos de viviendas de interés prioritario en el país.

3. ALCANCE Y LIMITACIONES

El análisis comparativo, económico y operativo entre los sistemas constructivos en ferrocemento y concreto armado aplicados a proyectos de vivienda de interés prioritario, pretende establecer bases sólidas, analíticas y experimentales que den pie a la escogencia de un sistema constructivo frente al otro, teniendo en cuenta las variables a sopesar y así poder presentar con argumentos un sistema constructivo realmente más económico y rápido. Con este fin se hizo un análisis de cada uno de los métodos constructivos a estudiar, teniendo como elementos principales de estudio las variables de tipo económico y logístico que cada sistema presentó, una vez estudiadas se llevó a cabo un análisis de tipo económico y operativo comparando los resultados obtenidos de los estudios individuales de cada sistema constructivo.

El análisis se hizo recogiendo la información necesaria en términos económicos y logísticos de cada sistema a examinar, con base en las ofertas del mercado actual nacional que presentan las diferentes empresas proveedoras de materiales e insumos de construcción, maquinaria, equipos, etc. La información obtenida al finalizar la presente investigación es presentada en términos de costos, disposición y tiempos de entrega o alquiler ofrecidos; además de la información legal con relación a las normas que rigen este tipo de estructuras, proyectos y el salario establecido por la ley. Una vez obtenida toda esta información se procesó según se planteó anteriormente con el fin descrito.

Teniendo presente el nivel académico de los investigadores y los recursos con los que cuentan, la presente investigación tuvo las siguientes delimitaciones:

3.1 Delimitación Espacial:

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Cartagena, principalmente en los laboratorios de simulación de la Universidad de Cartagena en el campus Piedra de Bolívar.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

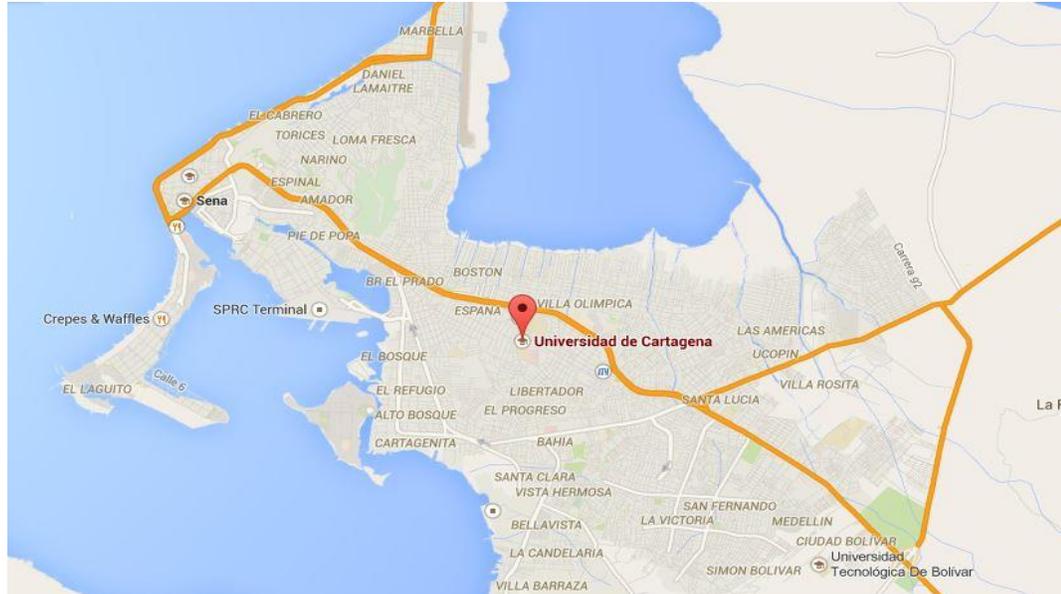


Figura 6: Ubicación del Campus de la Universidad de Cartagena en la ciudad de Cartagena.

Fuete: Google Maps.



Figura 7: Campus de la Universidad de Cartagena Piedra de Bolívar.

Fuente: Street View

3.2 Delimitación Temporal:

La investigación se realizó durante el primer periodo académico del año 2015, la duración de la misma fué de 20 semanas.

Al terminar la presente investigación se obtuvo un documento en el cual reposan los resultados de cada uno de los análisis realizados, que están en términos de duración y costos de ejecución de cada sistema constructivo aplicado al mismo proyecto, y en consecuencia su respectiva comparación relacionando cada aspecto estudiado en cada opción constructiva con su contraparte de la otra alternativa, para así, por medio de un análisis ponderado de dicha comparación poder determinar la elección más ventajosa en este tipo de proyectos.

Evidentemente este documento será útil a futuros estudios o investigaciones que puedan realizarse con el fin de determinar la superioridad de determinado sistema constructivo frente a otro, de acuerdo a criterios y variables diferentes a tener en cuenta (capacidad estructural, resistencia sísmica, etc.), diferentes tipos de proyectos o construcciones a analizar (edificaciones de dos o más pisos, represas, tanques de almacenamiento, etc.) y demás variables que no se incluyen como objeto de estudio en esta investigación, pero que también resultarán relevantes y completamente pertinentes de estudiar. También sirve de base científica para la elección de determinado sistema constructivo frente a otros en proyectos de esta índole.

Teniendo en cuenta la naturaleza del presente estudio, el cual es académico y, aunque es alimentado con datos reales y recientes, se realizó a través de modelos teóricos, por lo cual no puede ser aplicado en diferentes aspectos; no puede usarse como punto de partida para determinar la superioridad de un sistema constructivo u otro en cualquier tipo de proyectos de construcción, ni contiene ninguna información en términos de superioridad estructural de ninguno de los materiales a utilizar pues es análisis de costo y tiempo únicamente, no garantiza la calidad de los materiales en uso pues no es un

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

estudio experimental al respecto, ni afirma que un sistema constructivo híbrido entre los dos estudiado sea más o menos ventajoso pues no es objeto de investigación en este estudio.

4. METODOLOGIA

Se procedió según lo concerniente al tipo de investigación escogida (investigación comparada); ya que, tal como lo indica su nombre, se llevó a cabo una comparación entre los resultados obtenidos al desarrollar un proyecto de viviendas de interés prioritario en Colombia realizado éste con ambos sistemas constructivos, dándole mayor significancia a las variables preponderantes (tiempo y costo de ejecución), y se hizo para lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos y se compone de las siguientes fases:

4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta etapa de la investigación se obtuvo toda la base teórica, proveniente de fuentes externas, sobre la cual se asentó el análisis que se llevó a cabo con el fin de alcanzar los objetivos descritos, además esta recopilación tiene como finalidad obtener una serie de datos que se utilizaron para alimentar el análisis a realizado, entre las cuales están los costos, rendimientos y demás datos relativos a los materiales, técnicas y tecnologías que pertenecen a cada sistema constructivo. Las fuentes en cuestión de las que se obtuvo la información son:

- Normas técnicas que aplican a los materiales utilizados, mano de obra y tipo de proyecto en cuestión.
- Bases de datos a las que tiene acceso la Universidad de Cartagena.
- Bases de datos de precios, rendimiento y demás características de los materiales, maquinaria y equipos.
- Empresas proveedoras de materiales, de alquiler de equipo y maquinarias, que suministren catálogos con sus precios y características.

En la recolección de información se establece cual es la información necesaria para proceder con la investigación a realizada, expresada en documentos de diferente tipo e información de diferente índole dentro de la cual tenemos el POT de la ciudad que establece el uso del suelo, la normatividad vigente para este tipo de proyectos y viviendas, la norma sismo resistente colombiana, los catálogos de precios de los materiales y demás información que fue útil más adelante en la investigación.

4.2 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez obtenida toda la información con la que se alimentó el análisis se procedió como sigue:

1. ***Diseño del proyecto***; se definieron las soluciones habitacionales de acuerdo con las especificaciones, y se dimensionaron las mismas rigiendo para ello la normativa colombiana vigente, como se describe a continuación:
 - a. **Caracterización del predio**: Para determinar y caracterizar claramente el proyecto de construcción a estudiar se establecieron sus limitaciones espaciales esto es el área donde se ejecutaría la construcción de las unidades de viviendas constituyentes del mismo. Con base en el plan de ordenamiento territorial para la ciudad de Cartagena, la normativa correspondiente, el uso del suelo y la ubicación de las zonas urbanizables se determinó el predio que sirvió de base al proyecto de construcción estudiado.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- b. **Diseño del proyecto:** Una vez establecido el predio donde se daría lugar al proyecto y caracterizadas las condiciones para la realización del proyecto se lleva a cabo el diseño del mismo. Para esta tarea se contó con la asesoría de un profesional de la arquitectura que nos dotó de los diseños primeramente urbanísticos del proyecto en cuestión y consecuentemente del diseño arquitectónico tipo de las viviendas estudiado, teniendo como base la normatividad vigente que determina los estándares mínimos para este tipo de proyectos y viviendas.
 - c. **Diseño estructural de las viviendas:** Una vez definidas las especificaciones arquitectónicas y los estándares normativos se procedió al diseño estructural modelo o típico de las viviendas obedeciendo lo especificado en la norma sismo resistente colombiana con cada uno de los métodos constructivos por separado y así se obtuvo el modelo típico de estructura según cada sistema constructivo.
 - d. **Acabados e instalaciones domiciliarias:** Al tener definida la distribución de los espacios en la vivienda modelo y demás factores necesarios se llevó a cabo el diseño de las diferentes instalaciones domiciliarias y los acabados que esta habría de llevar, todo esto de acuerdo a los estándares mínimos contenidos en la normatividad vigente.
2. ***Cálculo de los costos;*** para hacer dicho análisis, dimensionó y especificó un proyecto de viviendas de interés prioritario en concreto armado según la información primaria correspondiente a materiales, equipos, mano de obra y maquinaria obtenida anteriormente, y se hizo un análisis de precio global de dicho proyecto y de su análogo en ferrocemento, pero con sus respectivas características para poder así compararlos.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- a. Cálculo de cantidades de obra: De acuerdo al diseño obtenido anteriormente se realizó un cálculo de las cantidades de obra necesarias para llevar a cabo la construcción del número anteriormente establecido de viviendas en el predio que contendría el proyecto teniendo en cuenta tanto la estructura como las diferentes instalaciones y los acabados para cada sistema constructivo estudiado.
3. **Análisis operativo del proyecto;** con la ayuda del software de gestión de proyectos (MS Project) y haciendo uso de la información obtenida anteriormente se analizó cada alternativa constructiva en términos logísticos y operativos desde los diferentes aspectos que permite la herramienta analizar, por medio de gráficos y esquemas.
- a. Modelación del proyecto: De acuerdo a la información anteriormente establecida se programó la construcción de la vivienda modelo, teniendo en cuenta las variables determinantes según cada sistema constructivo; como lo son tiempos de construcción, mano de obra necesaria, rendimiento y demás factores, en el gestor de proyectos MS Project y de esta forma se obtuvo el tiempo total de ejecución de obra además del costo total de la vivienda modelo.

4.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez realizado el procedimiento anteriormente descrito, se realizó una comparación ponderada acorde a los resultados obtenidos de tiempo de ejecución y costo directo, definiendo así cual método constructivo presenta superioridad operativa y económica respecto al otro, conceptualizando a su vez las limitantes y ventajas que ofrece cada sistema constructivo en función de las variables estudiadas, entregando con ello un informe detallado con el fin de presentar un sistema como el más adecuado para este tipo de proyectos.

En esta investigación se usaron variables de tipo económico y logístico que una vez sintetizadas por medio de análisis dieron pie para establecer las características que hacen o no ventajosa la elección de un sistema constructivo frente a otro, y que se discriminan a continuación:

- Cantidades de material
- Rendimiento de mano de obra
- Disposición de materiales
- Costo total
- Duración total
- Equipos requeridos

Una vez relacionadas todas estas variables a cada sistema constructivo aplicado a un mismo proyecto de viviendas de interés prioritario, se elaboró la comparación teniendo en cuenta las ventajas económicas y logísticas (menor costo, menor tiempo y maquinaria) que podría presentar el sistema con base en láminas prefabricadas de

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

ferrocemento, frente al sistema en concreto armado, en este tipo de proyectos, de acuerdo con la legislación colombiana.

- I. Procesamiento de la información: Se continuó con el procesamiento de los datos obtenidos del gestor de proyectos de acuerdo a las diferentes variables a estudiar con el fin de obtener información que haga comparable los sistemas constructivos de forma coherente y válida.
- II. Comparación económica y operativa: De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente del gestor de proyectos y una vez procesados, esto es teniendo información válida que haga comparable los dos sistemas constructivos se procedió a ejecutar la comparación en los términos anteriormente establecidos, económica y operativamente.
 - a. *Comparación de los análisis económico y operativo*; con la información obtenida de cada uno de las alternativas en sus diferentes aspectos se establecieron las ventajas y desventajas de cada una de las opciones a evaluar.
- III. Análisis de resultados: una vez hecha la comparación se determina la superioridad en cada área de cada método constructivo en referencia con el otro, para así constatar cual presenta ventajas en que cada área analizada y si esto lo hace superior en lo absoluto, además las otras posibles conclusiones al respecto que se obtuvieron del estudio y se establece el modelo óptimo de vivienda según los términos establecidos.

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL PREDIO

El predio en el cual se planteó la ubicación del proyecto presenta las siguientes características:

- Clasificación: Suelo Urbano
- Uso de Suelo: Residencial Tipo B
- Riesgo: Expansividad Baja
- Tratamiento: Suelo de Desarrollo
- Modelo: Zona Verde
- Tratamiento Especial: Ninguno

5.2 DISEÑO DEL PROYECTO

En cuanto al diseño de la vivienda tipo constituyente del Proyecto de Viviendas de Interés Prioritario se siguieron los lineamientos contemplados en los manuales y/o guías publicados por los distintos entes reguladores nacionales, tales como el Fondo de Adaptación, dependencia del Ministerio de Vivienda

Las principales especificaciones mínimas son las siguientes:

- El área de construcción mínima de las viviendas será de cuarenta metros cuadrados
- Las viviendas deberán estar conformadas como mínimo por un (1) espacio para sala/comedor, dos (2) alcobas independientes, cocina, zona de labores y un (1) baño, en lo posible se debe prever el desarrollo progresivo de la vivienda
- Las viviendas deberán contar con ducha; sanitario; lavamanos; mesón y lavaplatos; lavadero; puertas; ventanas y vidrios. En todos los casos deberán

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

contar con las conexiones necesarias, tanto a las redes de agua potable como a las tuberías de desagüe.

- Se debe instalar cerámica para el enchape de las zonas húmedas de ducha, lavamanos, sanitario, lavaplatos y lavadero, así:
 - ✓ Enchape en la pared de la ducha a una altura mínima de 1.8 m.
 - ✓ Enchape en la pared del lavaplatos a una altura mínima de 0.4 m, contados a partir del mesón instalado o construido.
 - ✓ Enchape en la pared del lavadero a una altura mínima de 0.4 m, contados a partir de la parte superior del mismo.
 - ✓ Para la pared del lavamanos y sanitario a una altura mínima de 1.8 m, se debe instalar como elemento que garantice impermeabilidad, enchape o pañete impermeabilizado con pintura con características resistentes a la humedad.
- Se deben instalar al menos dos (2) puertas por vivienda con sus respectivos marcos, así: una puerta en acceso principal, la cual debe ser de madera sellada o metálica; y una puerta en el baño.
- Los servicios públicos domiciliarios se entregarán instalados y funcionales con los respectivos medidores y contadores.

El diseño del Proyecto se muestra en el Anexo 01

5.3 PLANTEAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS

De acuerdo a la normativa vigente para construcción de estructuras NSR-10 se establecieron los criterios para el diseño estructural de la vivienda modelo en términos de cargas aplicadas, predimensionamiento de elementos estructurales, especificaciones de los materiales utilizados, etc. Este análisis dio como resultado un planteamiento estructural concordante con

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

cada sistema constructivo considerado en el cual se aprovechaban las características de cada sistema haciendo uso de una tipología estructural adecuada para cada uno como se describe a continuación:

➤ Vivienda en hormigón Armado:

Inicialmente, de acuerdo a las características que presenta el concreto reforzado como sistema estructural se planteó un sistema aperticado tridimensional donde los nudos se consideran rígidos. Además, se realizó un predimensionamiento de los elementos estructurales conformantes de cada pórtico, vigas y columnas, de acuerdo a los que plantea la norma sismoresistente al respecto, así como el planteamiento de columnas adecuado de acuerdo a los espacios arquitectónicos requeridos, y en términos de cimentación se tomó la información relativa a características de suelo provista por el sistema de información geográfica SIG MIDAS para la ciudad de Cartagena.

Una vez obtenidos todos los datos previos al diseño necesarios se procedió a hacer un modelo basado en la geometría de la estructura descrita utilizando para ello el software de cálculo estructural CypeCad®, obteniendo así el diseño estructural definitivo para estas viviendas. De esta manera se garantizó el cumplimiento de todas las solicitudes impuestas a la estructura, en términos arquitectónico y estructural, esto quiere decir que el diseño cumple estructuralmente respetando la distribución de espacios propuesta arquitectónicamente. El diseño definitivo se muestra en el Anexo 02.

➤ Vivienda en ferrocemento:

En primera instancia, de acuerdo a las particularidades que presenta el ferrocemento como método constructivo se diseñó un sistema estructural basado en paneles de ferrocemento con dimensiones semejantes a las que tienen los paneles prefabricados

de este material. El diseño que abarcó también los traveses en los cuales se insertarían los paneles para así poder conformar un sistema estructural, los inferiores que también hacen las veces de cimentación y para los cuales también se tomó la información relativa a características de suelo provista por el sistema de información geográfica SIG MIDAS para la ciudad de Cartagena; y los superiores o aéreos. Todos estos diseñados según la teoría existente al respecto y obedeciendo lo establecido para la NRS-10 al respecto, de acuerdo a los espacios arquitectónicos requeridos.

Una vez determinadas las dimensiones y forma de cada elemento constitutivo de la estructura se procedieron a hacer un modelo basado en la geometría de la estructura definida mediante una aplicación de cálculo de estructuras, consiguiendo igualmente el diseño estructural definitivo para la vivienda considerada. De esta forma se certificó el cumplimiento de todas las solicitudes asignadas a la estructura, arquitectónica y estructuralmente hablando. El diseño definitivo se muestra en el Anexo 03.

5.4 PLANTEAMIENTO DE REDES DOMICILIARIAS

Después del estudio detallado de la normativa vigente en términos de instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias; las solicitudes o características mínimas requeridas para proyectos de vivienda de este tipo, además de la distribución espacial con la que contaban las estructuras en cuestión se elaboraron los planos de cada una de las instalaciones domiciliarias con las características necesarias obedeciendo a toda la información suministrada. Los planos realizados fueron:

- Planos Eléctricos: Con base en la norma vigente (RETIE 2013), las dimensiones que poseía la estructura y los requerimientos mínimos en término de alimentación eléctrico se ubicaron cada uno de los elementos eléctricos, como son puntos eléctricos, necesarios para la vivienda además del cableado y sistemas de seguridad

necesarios para hacer funcionar todo el sistema como un conjunto. Dicho diseño fue elaborado por un Ingeniero Electrónico y Especialista en Gerencia de proyectos informáticos de la UNAD, el cual evaluó todas las solicitudes pertinentes al tipo de vivienda según lo establecido en la norma colombiana ya mencionada, obteniendo el diseño eléctrico mostrado en el Anexo 04.

- Planos Hidráulicos: De acuerdo a la normatividad vigente al respecto, las longitudes que con las que contaba la estructura y los requisitos mínimos para viviendas de este tipo en término hidráulicos se ubicaron cada uno de elementos hidráulicos necesarios para la vivienda como lo son salidas hidráulicas, tuberías, válvulas y demás aparatos hidráulicos. De acuerdo a esta información el diseño hidráulico definitivo se muestra en el anexo 05.
- Planos sanitarios: Estudiando las normas que rigen el manejo de aguas residuales (RAS) e interpretando las dimensiones con las que contaba la estructura, las solicitudes impuestas al sistema sanitario y los requisitos mínimos exigidos para viviendas de este tipo en término sanitarios se ubicaron cada uno de elementos sanitarios obligatorios para la vivienda. De acuerdo a esta información el diseño sanitario definitivo se muestra en el anexo 06.

5.5 CANTIDADES DE OBRA

Una vez obtenidos los diseños definitivos de tipo arquitecto, estructural, eléctrico, hidráulico y sanitario, mediante a un análisis detallado de cada uno de los planos realizados basados en estos diseños se procedió a determinar las cantidades de obras de cada una de las viviendas diseñadas (en concreto armado y en ferrocemento) para poder así establecer un presupuesto lo más ajustado a la realidad posible y así poder realizar una comparación fidedigna de estos

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

sistemas estructurales. Las cantidades calculadas para ambos sistemas constructivos se muestran a continuación:

5.5.1 Vivienda en Hormigón Armado

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:			EXCAVACIONES - CIMENTACION					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	H	VOLUMEN EXCAVACION	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
	ZAPATA	A1	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	A2	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	A3	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	A4	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	B1	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	B2	1,40 m	1,40 m	1,00 m	1,96 m3	1	1,96 m3
	ZAPATA	B3	1,40 m	1,40 m	1,00 m	1,96 m3	1	1,96 m3
	ZAPATA	B4	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	C1	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	C2	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	C3	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	ZAPATA	C4	1,20 m	1,20 m	1,00 m	1,44 m3	1	1,44 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 1	A-B	4,70 m	0,35 m	1,00 m	1,65 m3	1	1,65 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 1	B-C	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 2	A-B	4,70 m	0,35 m	1,00 m	1,65 m3	1	1,65 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 2	B-C	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 3	A-B	4,70 m	0,35 m	1,00 m	1,65 m3	1	1,65 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 3	B-C	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 4	A-B	4,70 m	0,35 m	1,00 m	1,65 m3	1	1,65 m3
	VIGA DE AMARRE EJE 4	B-C	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE A	1-2	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE A	2-3	3,30 m	0,35 m	1,00 m	1,16 m3	1	1,16 m3
	VIGA DE AMARRE EJE A	3-4	4,20 m	0,35 m	1,00 m	1,47 m3	1	1,47 m3
	VIGA DE AMARRE EJE B	1-2	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE B	2-3	3,30 m	0,35 m	1,00 m	1,16 m3	1	1,16 m3
	VIGA DE AMARRE EJE B	3-4	4,20 m	0,35 m	1,00 m	1,47 m3	1	1,47 m3
	VIGA DE AMARRE EJE C	1-2	2,70 m	0,35 m	1,00 m	0,95 m3	1	0,95 m3
	VIGA DE AMARRE EJE C	2-3	3,30 m	0,35 m	1,00 m	1,16 m3	1	1,16 m3
	VIGA DE AMARRE EJE C	3-4	4,20 m	0,35 m	1,00 m	1,47 m3	1	1,47 m3
TOTAL								39,39 m3

Tabla 2. Volumen de Excavación de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario				
CAPÍTULO:			SOLADO				
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	AREA DE SOLADO	CANT. ELEMENTOS	AREA TOTAL
	ZAPATA	A1	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	A2	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	A3	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	A4	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	B1	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	B2	1,20 m	1,20 m	1,44 m ²	1	1,44 m ²
	ZAPATA	B3	1,20 m	1,20 m	1,44 m ²	1	1,44 m ²
	ZAPATA	B4	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	C1	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	C2	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	C3	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	ZAPATA	C4	1,00 m	1,00 m	1,00 m ²	1	1,00 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 1	A-B	4,70 m	0,25 m	1,18 m ²	1	1,18 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 1	B-C	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 2	A-B	4,70 m	0,25 m	1,18 m ²	1	1,18 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 2	B-C	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 3	A-B	4,70 m	0,25 m	1,18 m ²	1	1,18 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 3	B-C	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 4	A-B	4,70 m	0,25 m	1,18 m ²	1	1,18 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE 4	B-C	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE A	1-2	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE A	2-3	3,30 m	0,25 m	0,83 m ²	1	0,83 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE A	3-4	4,20 m	0,25 m	1,05 m ²	1	1,05 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE B	1-2	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE B	2-3	3,30 m	0,25 m	0,83 m ²	1	0,83 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE B	3-4	4,20 m	0,25 m	1,05 m ²	1	1,05 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE C	1-2	2,70 m	0,25 m	0,68 m ²	1	0,68 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE C	2-3	3,30 m	0,25 m	0,83 m ²	1	0,83 m ²
	VIGA DE AMARRE EJE C	3-4	4,20 m	0,25 m	1,05 m ²	1	1,05 m ²
TOTAL							27,93 m ²

Tabla 3. Solado de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario							
CAPÍTULO:			ACERO DE CIMENTACION							
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	TIPO DE BARRA	Long. Tramo recto	Longitud total	Ø DE BARRA (EN #)	CANT. DE BARRAS	PESO POR ELEMENTO	CANT. ELEMENTOS	PESO TOTAL
	ZAPATA	A1	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	A2	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	A3	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	A4	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	B1	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	B2	LONG.	1,20 m	1,50 m	4	14	21,0 kg	1	21,0 kg
	ZAPATA	B3	LONG.	1,20 m	1,50 m	4	14	21,0 kg	1	21,0 kg
	ZAPATA	B4	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	C1	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	C2	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	C3	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	ZAPATA	C4	LONG.	0,90 m	1,20 m	4	12	14,4 kg	1	14,4 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 1	A-B	LONG.	4,70 m	4,70 m	4	4	18,8 kg	1	18,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 1	A-B	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 1	B-C	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 1	B-C	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 2	A-B	LONG.	4,70 m	4,70 m	4	4	18,8 kg	1	18,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 2	A-B	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 2	B-C	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 2	B-C	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 3	A-B	LONG.	4,70 m	4,70 m	4	4	18,8 kg	1	18,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 3	A-B	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 3	B-C	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 3	B-C	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 4	A-B	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 4	A-B	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 4	B-C	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE 4	B-C	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE A	1-2	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE A	1-2	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	12	3,4 kg	1	3,4 kg
	VIGA DE AMARRE EJE A	2-3	LONG.	3,30 m	3,30 m	4	4	13,2 kg	1	13,2 kg
	VIGA DE AMARRE EJE A	2-3	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE A	3-4	LONG.	4,20 m	4,20 m	4	4	16,8 kg	1	16,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE A	3-4	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE B	1-2	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE B	1-2	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	12	3,4 kg	1	3,4 kg
	VIGA DE AMARRE EJE B	2-3	LONG.	3,30 m	3,30 m	4	4	13,2 kg	1	13,2 kg
	VIGA DE AMARRE EJE B	2-3	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE B	3-4	LONG.	4,20 m	4,20 m	4	4	16,8 kg	1	16,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE B	3-4	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE C	1-2	LONG.	2,70 m	2,70 m	4	4	10,8 kg	1	10,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE C	1-2	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	12	3,4 kg	1	3,4 kg
	VIGA DE AMARRE EJE C	2-3	LONG.	3,30 m	3,30 m	4	4	13,2 kg	1	13,2 kg
	VIGA DE AMARRE EJE C	2-3	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
	VIGA DE AMARRE EJE C	3-4	LONG.	4,20 m	4,20 m	4	4	16,8 kg	1	16,8 kg
	VIGA DE AMARRE EJE C	3-4	ESTR.	0,30 m	0,50 m	3	18	5,1 kg	1	5,1 kg
TOTAL										499,8 kg

Tabla 5. Acero de Cimentación Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:			CONCRETO DE COLUMNAS					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	H	VOLUMEN DE CONCRETO	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
	COLUMNA	A1	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	A2	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	A3	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	A4	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	B1	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	B2	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	B3	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	B4	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	C1	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	C2	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	C3	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
	COLUMNA	C4	3,00 m	0,25 m	0,25 m	0,19 m3	1	0,19 m3
TOTAL								2,25 m3

Tabla 6. Concreto de Columnas Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario							
CAPÍTULO:			ACERO DE COLUMNAS							
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	TIPO DE BARRA	Long. Tramo recto	Longitud total	Ø DE BARRA (EN #)	CANT. DE BARRAS	PESO POR ELEMENTO	CANT. ELEMENTOS	PESO TOTAL
	COLUMNA	A1	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	A1	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	A1	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	A2	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	A2	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	A2	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	A3	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	A3	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	A3	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	A4	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	A4	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	A4	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	B1	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	B1	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	B1	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	B2	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	B2	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	B2	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	B3	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	B3	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	B3	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	B4	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	B4	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	B4	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	C1	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	C1	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	C1	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	C2	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	C2	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	C2	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	C3	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	C3	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	C3	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
	COLUMNA	C4	LONG.	1,10 m	1,40 m	5	4	8,8 kg	1	8,8 kg
	COLUMNA	C4	LONG.	3,00 m	3,40 m	5	4	21,3 kg	1	21,3 kg
	COLUMNA	C4	ESTR.	0,70 m	0,90 m	3	32	16,2 kg	1	16,2 kg
TOTAL										554,4 kg

Tabla 7. Acero de Columnas Vivienda Hormigón Armado. Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:			CONCRETO DE VIGAS					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	H	VOLUMEN DE CONCRETO	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
	VIGA EJE 1	A-B	4,70 m	0,20 m	0,30 m	0,28 m ³	1	0,28 m ³
	VIGA EJE 1	B-C	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE 2	A-B	4,70 m	0,20 m	0,30 m	0,28 m ³	1	0,28 m ³
	VIGA EJE 2	B-C	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE 3	A-B	4,70 m	0,20 m	0,30 m	0,28 m ³	1	0,28 m ³
	VIGA EJE 3	B-C	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE 4	A-B	4,70 m	0,20 m	0,30 m	0,28 m ³	1	0,28 m ³
	VIGA EJE 4	B-C	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE A	1-2	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE A	2-3	3,30 m	0,20 m	0,30 m	0,20 m ³	1	0,20 m ³
	VIGA EJE A	3-4	4,20 m	0,20 m	0,30 m	0,25 m ³	1	0,25 m ³
	VIGA EJE B	1-2	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE B	2-3	3,30 m	0,20 m	0,30 m	0,20 m ³	1	0,20 m ³
	VIGA EJE B	3-4	4,20 m	0,20 m	0,30 m	0,25 m ³	1	0,25 m ³
	VIGA EJE C	1-2	2,70 m	0,20 m	0,30 m	0,16 m ³	1	0,16 m ³
	VIGA EJE C	2-3	3,30 m	0,20 m	0,30 m	0,20 m ³	1	0,20 m ³
	VIGA EJE C	3-4	4,20 m	0,20 m	0,30 m	0,25 m ³	1	0,25 m ³
TOTAL								3,61 m ³

Tabla 8. Concreto de Vigas Vivienda Hormigón Armado. **Fuente:** Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario							
CAPÍTULO:			ACERO DE VIGAS							
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	TIPO DE BARRA	Long. Tramo recto	Longitud total	Ø DE BARRA (EN #)	CANT. DE BARRAS	PESO POR ELEMENTO	CANT. ELEMENTOS	PESO TOTAL
	VIGA EJE 1	A-C	LONG.	1,20 m	1,50 m	4	1	1,5 kg	1	1,5 kg
	VIGA EJE 1	A-C	LONG.	2,10 m	2,10 m	4	2	4,2 kg	1	4,2 kg
	VIGA EJE 1	A-C	LONG.	0,70 m	1,00 m	4	1	1,0 kg	1	1,0 kg
	VIGA EJE 1	A-C	LONG.	5,30 m	5,60 m	4	4	22,4 kg	1	22,4 kg
	VIGA EJE 1	A-C	LONG.	3,30 m	3,60 m	4	4	14,4 kg	1	14,4 kg
	VIGA EJE 1	A-C	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	80	36,0 kg	1	36,0 kg
	VIGA EJE 2	A-C	LONG.	1,20 m	1,50 m	4	1	1,5 kg	1	1,5 kg
	VIGA EJE 2	A-C	LONG.	3,90 m	3,90 m	8	1	15,6 kg	1	15,6 kg
	VIGA EJE 2	A-C	LONG.	0,80 m	1,10 m	4	1	1,1 kg	1	1,1 kg
	VIGA EJE 2	A-C	LONG.	7,90 m	8,70 m	6	3	58,7 kg	1	58,7 kg
	VIGA EJE 2	A-C	LONG.	8,10 m	9,10 m	6	3	61,4 kg	1	61,4 kg
	VIGA EJE 2	A-C	LONG.	3,70 m	3,70 m	5	1	5,8 kg	1	5,8 kg
	VIGA EJE 2	A-C	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	85	38,3 kg	1	38,3 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	1,20 m	1,50 m	4	1	1,5 kg	1	1,5 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	3,10 m	3,10 m	8	1	12,4 kg	1	12,4 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	0,80 m	1,10 m	4	1	1,1 kg	1	1,1 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	7,90 m	8,70 m	6	4	78,3 kg	1	78,3 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	4,10 m	4,10 m	8	2	32,8 kg	1	32,8 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	1,80 m	1,80 m	4	1	1,8 kg	1	1,8 kg
	VIGA EJE 3	A-C	LONG.	8,10 m	9,10 m	6	4	81,9 kg	1	81,9 kg
	VIGA EJE 3	A-C	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	89	40,1 kg	1	40,1 kg
	VIGA EJE 4	A-C	LONG.	1,10 m	1,40 m	4	1	1,4 kg	1	1,4 kg
	VIGA EJE 4	A-C	LONG.	2,10 m	2,10 m	5	2	6,6 kg	1	6,6 kg
	VIGA EJE 4	A-C	LONG.	0,80 m	1,10 m	4	1	1,1 kg	1	1,1 kg
	VIGA EJE 4	A-C	LONG.	5,30 m	5,60 m	4	5	28,0 kg	1	28,0 kg
	VIGA EJE 4	A-C	LONG.	3,30 m	3,60 m	4	4	14,4 kg	1	14,4 kg
	VIGA EJE 4	A-C	LONG.	3,00 m	3,00 m	4	1	3,0 kg	1	3,0 kg
	VIGA EJE 4	A-C	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	80	36,0 kg	1	36,0 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	1,10 m	1,40 m	4	1	1,4 kg	1	1,4 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	1,90 m	1,90 m	4	2	3,8 kg	1	3,8 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	1,80 m	1,80 m	5	1	2,8 kg	1	2,8 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	0,80 m	1,10 m	4	1	1,1 kg	1	1,1 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	4,90 m	5,20 m	4	4	20,8 kg	1	20,8 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	4,10 m	4,10 m	4	4	16,4 kg	1	16,4 kg
	VIGA EJE A	1-5	LONG.	3,30 m	3,60 m	4	4	14,4 kg	1	14,4 kg
	VIGA EJE A	1-5	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	113	50,9 kg	1	50,9 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	8,40 m	8,80 m	6	3	59,4 kg	1	59,4 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	3,30 m	3,70 m	6	2	16,7 kg	1	16,7 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	2,00 m	2,00 m	5	1	3,1 kg	1	3,1 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	0,80 m	1,10 m	4	1	1,1 kg	1	1,1 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	8,50 m	9,00 m	6	3	60,8 kg	1	60,8 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	3,20 m	3,70 m	6	2	16,7 kg	1	16,7 kg
	VIGA EJE B	1-5	LONG.	3,00 m	3,00 m	8	1	12,0 kg	1	12,0 kg
	VIGA EJE B	1-5	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	119	53,6 kg	1	53,6 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	1,10 m	1,40 m	4	1	1,4 kg	1	1,4 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	2,00 m	2,00 m	5	1	3,1 kg	1	3,1 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	1,80 m	1,80 m	5	1	2,8 kg	1	2,8 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	0,80 m	1,10 m	4	1	1,1 kg	1	1,1 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	4,90 m	5,20 m	4	4	20,8 kg	1	20,8 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	4,10 m	4,10 m	4	4	16,4 kg	1	16,4 kg
	VIGA EJE C	1-5	LONG.	3,30 m	3,60 m	4	4	14,4 kg	1	14,4 kg
	VIGA EJE C	1-5	ESTR.	0,60 m	0,80 m	3	113	50,9 kg	1	50,9 kg
TOTAL										1205,0 kg

Tabla 9. Acero de Vigas Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Vivienda de Interés prioritario						
CAPÍTULO:			MAMPOSTERÍA						
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	H	ÁREA DE MUROS	CANT. ELEMENTOS	ÁREA TOTAL	NÚMERO DE LADRILLOS/M2	NÚMERO DE LADRILLOS
	Mampostería	GEN.	46,27 m	3,00 m	138,81 m ²	1	138,81 m ²	12,50 Ladrillos	1735,13 Ladrillos
TOTAL									1909 Ladrillos

Tabla 10. Mampostería Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

PROYECTO:				Vivienda de Interés prioritario					
CAPÍTULO:				CUBIERTAS					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	CANT.	AREA	CANT. ELEMENTOS	ÁREA TOTAL	NÚMERO DE TEJAS
	CUBIERTA	Zona 1	7,00 m	6,00 m	1	42,00 m ²	1	42,00 m ²	40 Tejas No. 6
	CUBIERTA	Zona 2	7,00 m	6,00 m	1	42,00 m ²	1	42,00 m ²	40 Tejas No. 6
	CORREAS DE MADERA	General	6,00 m	-	1	-	10		
TOTAL									84,00 m ² 80 Tejas No. 6

Tabla 11. Cubierta Vivienda Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

5.5.2 Vivienda en ferrocemento

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:			EXCAVACIONES - CIMENTACION					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	H	VOLUMEN EXCAVACION	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
1	ZAPATA	A	15,20 m	0,80 m	1,00 m	12,16 m ³	1	12,16 m ³
2	ZAPATA	B	11,50 m	0,80 m	1,00 m	9,20 m ³	1	9,20 m ³
3	ZAPATA	C	15,20 m	0,80 m	1,00 m	12,16 m ³	1	12,16 m ³
4	ZAPATA	INT.	31,50 m	0,80 m	1,00 m	25,20 m ³	1	25,20 m ³
TOTAL								58,72 m ³

Tabla 12. Volumen de Excavación de Cimentación Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario				
CAPÍTULO:			SOLADO				
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	AREA DE SOLADO	CANT. ELEMENTOS	AREA TOTAL
1	ZAPATA	A	14,20 m	0,60 m	8,52 m ²	1	8,52 m ²
2	ZAPATA	B	8,50 m	0,60 m	5,10 m ²	1	5,10 m ²
3	ZAPATA	C	14,20 m	0,60 m	8,52 m ²	1	8,52 m ²
4	ZAPATA	INT.	23,50 m	0,60 m	14,10 m ²	1	14,10 m ²
TOTAL							36,24 m ²

Tabla 13. Solado de Cimentación Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario				
CAPÍTULO:			CONCRETO DE CIMENTACIÓN				
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	AREA TRANS.	VOLUMEN DE CONCRETO	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
1	ZAPATA	A	14,20 m	0,18 m ²	2,56 m ³	1	2,56 m ³
2	ZAPATA	B	8,50 m	0,18 m ²	1,53 m ³	1	1,53 m ³
3	ZAPATA	C	14,20 m	0,18 m ²	2,56 m ³	1	2,56 m ³
4	ZAPATA	INT.	23,50 m	0,18 m ²	4,23 m ³	1	4,23 m ³
TOTAL							10,87 m ³

Tabla 14. Concreto de Cimentación Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario										
CAPÍTULO:			ACERO DE CIMENTACION										
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	TIPO DE BARRA	Long. gancho #1	Long. gancho #2	Long. Tramo recto	Longitud total	Ø DE BARRA (EN #)	N° BARRAS POR METRO	PESO BARRA	PESO POR METRO	Long. elemento	PESO TOTAL
1	ZAPATA	A	LONG.	0,15 m	0,15 m	0,90 m	1,20 m	4	6	1,00 kg/m	7,2 kg	14,20 m	102,2 kg
2	ZAPATA	A	TRANS.			0,50 m	0,50 m	3	6	0,56 kg/m	1,7 kg	14,20 m	24,0 kg
3	ZAPATA	B	LONG.	0,15 m	0,15 m	0,90 m	1,20 m	4	6	1,00 kg/m	7,2 kg	8,50 m	61,2 kg
4	ZAPATA	B	TRANS.			0,50 m	0,50 m	3	6	0,56 kg/m	1,7 kg	8,50 m	14,3 kg
5	ZAPATA	C	LONG.	0,15 m	0,15 m	0,90 m	1,20 m	4	6	1,00 kg/m	7,2 kg	14,20 m	102,2 kg
6	ZAPATA	C	TRANS.			0,50 m	0,50 m	3	6	0,56 kg/m	1,7 kg	14,20 m	24,0 kg
7	ZAPATA	INT.	LONG.	0,15 m	0,15 m	0,90 m	1,20 m	4	6	1,00 kg/m	7,2 kg	23,50 m	169,2 kg
8	ZAPATA	INT.	TRANS.			0,50 m	0,50 m	3	6	0,56 kg/m	1,7 kg	23,50 m	39,7 kg
TOTAL													536,8 kg

Tabla 15. Acero de Cimentación Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:			MORTERO DE PANELES					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	H	VOLUMEN DE CONCRETO	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
1	PANEL	A	14,20 m	0,04 m	2,95 m	1,68 m3	1	1,68 m3
2	PANEL	B	8,50 m	0,04 m	2,95 m	1,00 m3	1	1,00 m3
3	PANEL	C	14,20 m	0,04 m	2,95 m	1,68 m3	1	1,68 m3
4	PANEL	INT.	23,50 m	0,04 m	2,95 m	2,77 m3	1	2,77 m3
TOTAL								7,13 m3

Tabla 16. Mortero para elaboración de paneles de ferrocemento Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

PROYECTO:			Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:			ACERO PANELES					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	H	AREA DE MALLA	CAPAS DE MALLAS	PESO POR M2	PESO TOTAL
1	PANEL	A	14,20 m	3,00 m	42,60 m2	4	0,30 kg/m2	51,1 kg
2	PANEL	B	8,50 m	3,00 m	25,50 m2	4	0,30 kg/m2	30,6 kg
3	PANEL	C	14,20 m	3,00 m	42,60 m2	4	0,30 kg/m2	51,1 kg
4	PANEL	INT.	23,50 m	3,00 m	70,50 m2	4	0,30 kg/m2	84,6 kg
TOTAL								217,4 kg

Tabla 17. Mallas de Acero para refuerzo difuso en paneles Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO:		Viviendas de interes prioritario					
CAPÍTULO:		CONCRETO DE VIGAS					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	AREA TRANS.	VOLUMEN DE CONCRETO	CANT. ELEMENTOS	VOLUMEN TOTAL
1	VIGA U	A	14,20 m	0,06 m	0,85 m ³	1	0,85 m ³
2	VIGA U	B	8,50 m	0,06 m	0,51 m ³	1	0,51 m ³
3	VIGA U	C	14,20 m	0,06 m	0,85 m ³	1	0,85 m ³
4	VIGA U	INT.	23,50 m	0,06 m	1,41 m ³	1	1,41 m ³
TOTAL							3,62 m ³

Tabla 18. Concreto de Vigas Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

PROYECTO:		Viviendas de interes prioritario								
CAPÍTULO:		ACERO DE VIGAS								
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	TIPO DE BARRA	Long. Tramo recto	Longitud total	Ø DE BARRA (EN #)	N° BARRAS POR METRO	PESO POR METRO	Long. elemento	PESO TOTAL
1	VIGA U	A	LONG.	0,15 m	0,45 m	3	8	2,0 kg	14,20 m	28,8 kg
2	VIGA U	A	TRANS.	1,00 m	1,00 m	3	2	1,1 kg	14,20 m	16,0 kg
3	VIGA U	B	LONG.	0,15 m	0,45 m	3	8	2,0 kg	8,50 m	17,2 kg
4	VIGA U	B	TRANS.	1,00 m	1,00 m	3	2	1,1 kg	8,50 m	9,6 kg
5	VIGA U	C	LONG.	0,15 m	0,45 m	3	8	2,0 kg	14,20 m	28,8 kg
6	VIGA U	C	TRANS.	1,00 m	1,00 m	3	2	1,1 kg	14,20 m	16,0 kg
7	VIGA U	INT.	LONG.	0,15 m	0,45 m	3	8	2,0 kg	23,50 m	47,6 kg
8	VIGA U	INT.	TRANS.	1,00 m	1,00 m	3	2	1,1 kg	23,50 m	26,4 kg
TOTAL										190,3 kg

Tabla 19. Acero de Vigas Vivienda Ferrocemento. **Fuente:** Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

PROYECTO: CAPÍTULO:				Vivienda de Interés prioritario					
				CUBIERTAS					
ITEM	ELEMENTO	UBICACIÓN	L	B	CANT.	AREA	CANT. ELEMENTOS	ÁREA TOTAL	NÚMERO DE TEJAS
	CUBIERTA	Zona 1	7,00 m	6,00 m	1	42,00 m ²	1	42,00 m ²	40 Tejas No. 6
	CUBIERTA	Zona 2	7,00 m	6,00 m	1	42,00 m ²	1	42,00 m ²	40 Tejas No. 6
	CORREAS DE MADERA	General	6,00 m	-	1	-	10		
TOTAL								84,00 m ²	80 Tejas No. 6

Tabla 20. Cubierta Vivienda Ferrocemento

Fuente: Autores

Luego de realizar este cálculo se evidenció que el sistema en ferrocemento ofrece un mayor ahorro en la cantidad de materiales necesarios para la construcción de la superestructura, sin embargo, en cuanto a la cimentación es aventajado ampliamente por el sistema en hormigón armado.

Pese a lo anterior, las actividades necesarias para la ejecución de las obras de cimentación de una vivienda no impactan significativamente en el presupuesto de esta, y la desventaja del sistema en ferrocemento en las actividades de cimentación es ampliamente compensada por sus ventajas operativas y económicas en las demás actividades ejecutadas en la construcción de una vivienda.

5.6. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Posterior a la obtención de las cantidades de obra, se procedió a determinar los tiempos de ejecución de las mismas. Los Tiempos y Rendimientos pertinentes se obtuvieron de la Base de datos de INVIAS para el Departamento de Bolívar extraída del Software de Planeación y Presupuesto Quercusoft; los valores allí plasmados corresponden a la última actualización de INVIAS del año 2014.

Luego de un correcto análisis de los datos investigados se realizó un resumen de las conclusiones a las cuales se llegaron, este resumen se presenta a continuación:

Valores Comparados (Por Vivienda)*				
Costo Total	Vivienda en Ferrocemento	\$23.880.780,6	✓	-17,0%
	Vivienda en Hormigón Armado	\$28.772.118,3		
Duración Total	Vivienda en Ferrocemento	65 días	✓	-14,5%
	Vivienda en Hormigón Armado	76 días		

Valores Comparados (Total Proyecto)*				
Costo Total	Vivienda en Ferrocemento	\$4.971.677.010,7	✓	-8,3%
	Vivienda en Hormigón Armado	\$5.424.569.881,7		
Duración Total	Vivienda en Ferrocemento	2750 días	✓	-14,5%
	Vivienda en Hormigón Armado	3215 días		

* Valores correspondientes a costos directos

Para un estudio más detallado de la ejecución de cada proyecto se expone en los cronogramas correspondientes a cada sistema constructivo que se muestran en los Anexos:

Vivienda en Hormigón Armado: Anexo 07

Vivienda en Ferrocemento: Anexo 08

5.7. PRESUPUESTO

Respondiendo a la investigación realizada sobre costos de obra, de cada uno de los elementos necesarios en la construcción de cada vivienda como son los costos de los materiales, herramientas y equipos, mano de obra y transporte; así como también los costos del lote y costos administrativos que se podrían generar se realizó un presupuesto del proyecto de vivienda a realizar con las dos alternativas descritas aplicando esta información a las cantidades de obra obtenidas anteriormente.

En el presupuesto presentado sólo se resumieron los valores concernientes a materiales, puesto que se consideraron las cantidades de actividades preliminares iguales para ambos sistemas constructivos, pues se trata de la misma área construida, los presupuesto de las instalaciones domiciliarias tampoco se consideran significantes en la comparación, ya que el planteamiento de dichas instalaciones es el mismo para ambos sistemas constructivos; en este orden de ideas, el presupuesto presentado se enmarca únicamente en las actividades propias de ejecución de la construcción de ambas viviendas.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

ITEM	DESCRIPCION	PROYECTO:		Vivienda Interés Prioritario		SUB-TOTAL
		UND.	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL	
1 PRELIMINARES						
1,1	Agua Potable (Consumo humano)	Mes	108,00	\$ 1.750.000,00	\$ 189.000.000	
1,2	Energía eléctrica e iluminación provisional	Mes	108,00	\$ 3.000.000,00	\$ 324.000.000	
1,3	Construcción de campamento de obra	GL	1,00	\$ 15.000.000,00	\$ 15.000.000	
1,4	Movilización y desmovilización	GL	1,00	\$ 22.000.000,00	\$ 22.000.000	
1,5	Trazado y Replanteo	GI	1,00	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000	
1,6	Limpieza y retiro de maleza y arbustos	M2	77712,00	\$ 100,00	\$ 7.771.200	
1,7	Revisión de la ingeniería y documentación	GL	1,00	\$ 15.000.000,00	\$ 15.000.000	
1,8	Baños	Mes	108,00	\$ 1.900.000,00	\$ 205.200.000	
1,10	Cerramiento Provisional	M	1100,00	\$ 24.500,00	\$ 26.950.000	
1,11	Comunicación provisional (Internet)	Mes	108,00	\$ 1.000.000,00	\$ 108.000.000	
1,12	Vigilancia de Obra	Mes	108,00	\$ 7.000.000,00	\$ 756.000.000	
SUBTOTAL						\$ 1.676.921.200
2 MOVIMIENTOS DE TIERRA						
2,1	Corte (explanación para emplazamiento)	M3	8233,62	\$ 23.000,00	\$ 189.373.145	
2,2	Relleno (explanación para emplazamiento)	M3	1222,13	\$ 36.500,00	\$ 44.607.745	
2,3	Relleno Sub-base	M3	2636,84	\$ 79.000,00	\$ 208.310.486	
2,4	Relleno Base	M3	1464,91	\$ 105.960,00	\$ 155.222.076	
2,5	Reutilización de material excavado	M3	1222,13	\$ 6.000,00	\$ 7.332.780	
2,6	Retiro de material excavado	M3	7011,49	\$ 15.000,00	\$ 105.172.275	
SUBTOTAL						\$ 710.018.507
3 VIVIENDA EN HORMIGÓN						
3,1	Excavación Cimentación	M3	1851,33	\$ 7.601,70	\$ 14.073.255	
3,2	Solado	M2	1312,71	\$ 21.000,00	\$ 27.566.910	
3,3	Concreto Cimentación	M3	388,69	\$ 786.242,01	\$ 305.604.407	
3,4	Acero Cimentación	Kg	23490,60	\$ 5.582,09	\$ 131.126.643	
3,5	Concreto Columnas	M3	105,75	\$ 786.242,01	\$ 83.145.093	
3,6	Acero Columnas	kg	26056,80	\$ 5.582,09	\$ 145.451.403	
3,7	Concreto Vigas	M3	169,67	\$ 786.242,01	\$ 133.401.682	
3,8	Acero vigas	kg	56635,00	\$ 5.582,09	\$ 316.141.667	
3,9	Mampostería (Ladrillos)	Und.	89770,00	\$ 1.050,00	\$ 94.258.500	
3,10	Cubierta (Tejas Ajojer Livianas)	Und.	3760,00	\$ 27.000,00	\$ 101.520.000	
SUBTOTAL						\$ 1.352.289.560
4 VIAS Y PAVIMENTOS						
4,1	Pavimento de vías y parqueaderos	M3	1427,94	\$ 826.000,00	\$ 1.179.478.440	
4,2	Bordillos	M	389,65	\$ 55.000,00	\$ 21.430.750	
4,3	Andenes	M2	467,40	\$ 72.000,00	\$ 33.652.800	
4,4	Barandas	M	226,20	\$ 550.000,00	\$ 124.408.625	
SUBTOTAL						\$ 1.358.970.615
5 EDIFICIOS MENORES						
5,1	Baños	M2	49,1	\$ 1.200.000,00	\$ 58.920.000	
5,2	Portería	M2	15,0	\$ 1.500.000,00	\$ 22.500.000	
SUBTOTAL						\$ 81.420.000
6 OTROS						
6,1	Excavación de canales	M	75,0	\$ 30.000,00	\$ 2.250.000	
6,2	Cerramiento	M	470,0	\$ 150.000,00	\$ 70.500.000	
6,3	Box coulvert	M	100,0	\$ 672.000,00	\$ 67.200.000	
6,4	Modulo de entrada	und	1,0	\$ 60.000.000,00	\$ 60.000.000	
6,5	Planos ASBUILT y Dossier de construcción	GL	1,0	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000	
6,6	Control de calidad	GL	1,0	\$ 40.000.000,00	\$ 40.000.000	
SUBTOTAL						\$ 244.950.000
COSTO DIRECTO						\$ 5.424.569.882
ADMINISTRACION (6%)				8%		\$ 433.965.591
IMPREVISTOS (5%)				5%		\$ 271.228.494
UTILIDADES (6%)				6%		\$ 325.474.193
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)				19%		\$ 61.840.097
COSTO TOTAL						\$ 6.517.078.256
NOMBRE						
Israel Quintana Guerrero						
Alvaro Puche Ibañez						

Tabla 21. Presupuesto Vivienda en Hormigón Armado.

Fuente: Autores

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

Como se dijo anteriormente, los costos de obras preliminares y de instalaciones domiciliarias se consideran igual para ambos sistemas constructivos, pues el hecho de realizar dichas actividades (desmante, limpieza, replanteo, pavimento de vías, entre otras) no depende del tipo de sistema constructivo escogido sino de la configuración del proyecto y del emplazamiento del mismo; por lo tanto, para realizar la comparación se escogieron actividades inherentes al sistema constructivo.

	Hormigón Armado		Ferrocemento	
Costo Directo	\$5.424.569.882	59,19%	\$4.971.677.011	61,44%
M. de Obra	\$1.857.600.000	20,27%	\$1.582.400.000	19,55%
Equipos y Herramientas	\$789.462.589	8,61%	\$536.834.561	6,63%
Costos Indirectos	\$1.092.508.374	11,92%	\$1.001.295.750	12,37%
TOTAL	\$9.164.140.845	100,00%	\$8.092.207.321	100,00%

Tabla 23. Desglose de Inversión. Fuente: Autores

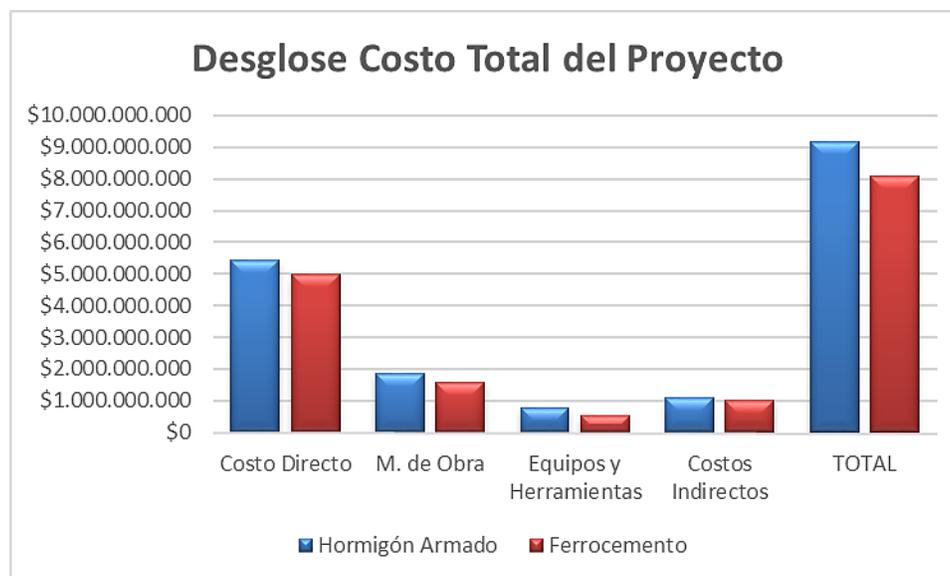


Figura 8. Desglose de Inversión. Fuente: Autores.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, la consecución de un presupuesto por vivienda y de un cronograma, obedeciendo a las condiciones de las viviendas a diseñar, y teniendo como base las cantidades de obra, el estudio de tiempos y el estudio de costos previamente realizados; se llevó a cabo una comparación según dos líneas de análisis para así constatar lo ventajoso o factible que resultaría cada sistema constructivo en comparación con el otro.

Teniendo en cuenta la variable costo (en términos de materiales), el costo de la construcción de una vivienda en ferrocemento, partiendo del mismo diseño arquitectónico, resulta más económico que el de una vivienda en hormigón armado, debido a que se utiliza una cantidad menor de materiales gracias a la propia distribución espacial de la estructura.

En cuanto a la variable tiempo el comportamiento es similar, pese a que la prefabricación in situ de los paneles de ferrocemento acarrea un tiempo considerable, esta actividad no impide la realización de otras actividades como excavaciones, cimentación, etc., lo que da lugar al fraguado y puesta a punto de los paneles para su montaje luego de que la cimentación esté lista. De este modo se garantiza un correcto comportamiento de la estructura ante eventos sísmico y de otra índole.

En términos generales ambos sistemas constructivos son igual de eficientes ante las solicitudes a que están sometidos, sin embargo, el sistema de construcción en ferrocemento redujo los costos en un 11,69%, además, reduce en un 14,5% los tiempos de ejecución en obra; valores muy significativos teniendo en cuenta el tipo de proyectos a ejecutar. En el proyecto diseñado y calculado, el ahorro total en costos fué de \$ 1.071.933.524, además se redujeron 465 días de ejecución en obra.

Partiendo de lo anterior se propone el sistema de construcción en ferrocemento como adecuado para proyectos de vivienda en general, más aún en aquellos que, como los proyectos de viviendas de interés prioritario, deberían ser asequibles; y que mejor manera de

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

obtener esto que reduciendo drásticamente los costos sin prescindir de calidad de materiales, y manteniendo una alta confiabilidad en el comportamiento sísmico de la estructura.

Arquitectónicamente cabe mencionar que al ser los paneles de ferrocemento de espesores menores a 5 Cm ofrecen una mejor distribución de espacios interiores; disminuyendo, de manera no tan grande pero sí significativa, la relación Área Construida/ Área necesaria; lo que en proyectos de mayor envergadura resultaría en una reducción adicional de costos de ejecución.

Pese a todas las ventajas que el sistema de construcción en ferrocemento plantea, es necesario considerar las restricciones que puede presentar la utilización de dicho sistema constructivo. La capacidad portante de los paneles de ferrocemento necesaria para un adecuado comportamiento sísmico se obtiene con mortero de alta resistencia (mayor a 25 MPa) razón por la cual se hace imprescindible realizar un adecuado diseño de mezcla, garantizar la adecuada colocación de las mallas de refuerzo al panel, y la correcta fabricación del mismo.

El sistema constructivo en ferrocemento, como ya se ha mencionado, presenta un muy buen comportamiento sísmico, pese a esto es indispensable diseñar un adecuado sistema de anclajes entre los paneles, la cimentación y la estructura de cubierta, pues en las uniones es precisamente dónde se presentan fallas estructurales ante eventos sísmicos. Motivo por el cual se sugiere la utilización de dicho sistema constructivo en zonas de amenaza sísmica baja a moderada; lo anterior no excluye zonas de amenaza sísmica alta, sólo que deben garantizarse las uniones entre el panel y la cimentación y el montaje de cubierta.

Estos anclajes suelen consistir en pernos, platinas, etc., sin embargo, los investigadores recomiendan un anclaje en cimentación y en cubierta empotrado, el cual se logra al fundir vigas de cimentación corridas e introduciendo aproximadamente 15 Cm el panel de modo que este quede empotrado en la cimentación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrea Jaramillo, M. J. (2010). *Diseño y seguimiento de un tanque de ferrocemento de 50m³*. Cuenca.
- BARRIENTOS, L. M. (2004). Recuperado el 7 de Agosto de 2014
- Bedoya Ruiz, D. (2005). *Estudio de Resistencia y vulnerabilidad sísmica de las viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2003). Recuperado el Octubre 24 de 2014, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/etconstruccionferrocemento.pdf>
- Delgado, A. G. (Julio de 2011). Recuperado el 13 de Agosto de 2014
- El Desarrollo de la Edificación en Concreto Armado en Colombia. (Julio de 2009). *DeArquitectura*, 8. Recuperado el 13 de Agosto de 2014
- El Espectador. (2011). *Viviendas de Interés Social no Cumplen Estándares de Calidad: Personería*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/viviendas-de-interes-social-no-cumplen-estandares-de-ca-articulo-278680>
- Fernando Díaz Garzón, D. I. (2008). *Propuesta Para Sistema Constructivo con Materiales Alternativos para Viviendas de Interés Social*. Universidad Industrial de Santander, Santander, Bucaramanga. Recuperado el 18 de Marzo de 2015
- Fraile, D. G. (Abril de 2009). Recuperado el 7 de Agosto de 2014
- Garzón, F. D., & Vega, D. I. (2006). *Propuesta para Sistema Constructivo con Materiales Alternativos para Viviendas de Interés Social*. Bucaramanga, Santander, Colombia. Recuperado el 22 de Octubre de 2014
- González-Blanco, F. (22 de Diciembre de 2011). Recuperado el 13 de Agosto de 2014
- HERMOSO, J. G. (1997). Recuperado el 13 de 08 de 2014
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. (2013). *Jornadas Internacionales de Investigación en Construcción. Viviendas: Pasado, Presente y Futuro*, (pág. 188). Madrid. Recuperado el 13 de Agosto de 2014
- Jáuregui, V. G. (27 de Enero de 2009). Recuperado el 13 de 8 de 2014

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL FERROCEMENTO Y EL HORMIGÓN ARMADO COMO SISTEMA
CONSTRUCTIVO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO EN COLOMBIA

- MONTES, H. A. (2006). Universidad Austral de Chile. Recuperado el 14 de Agosto de 2014
- Opazo, C. B. (2004). *Diseño en Ferrocemento de un Edificio Destinado a Vivienda Social*. Tesis de Grado, Universidad Austral de Chile.
- Ruiz, D. A. (9 de 2005). Recuperado el 7 de 8 de 2014
- RURAL, U. D. (2003). *GUÍA DE CONSTRUCCIÓN PARA ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO*. Lima.
- Saavedra. (2000).
- Saleme, H., Comoglio, S., & Muñoz, J. M. (Octubre de 2002). Recuperado el 24 de Octubre de 2014, de <http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/antecedentes/nro22/pdf/n22inv03.pdf>
- Sologaistoa, A. B. (Julio de 2005). Recuperado el 13 de Agosto de 2014
- TREZZA, M. (2009). Estructura y Propiedades. *Revista de la Construcción*, 144.
- Triana lopez, F. (1996). *ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL UTILIZANDO FERROCEMENTO COMO MATERIAL ALTERNATIVO*.
- Wang. (1997). *ACI*.
- Zúñiga, A. P., & Salcedo, L. O. (2008). Recuperado el 24 de Octubre de 2014, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/materiales/pdf/cap9/amplia/cartilla%20ferrocemento.pdf>

8. ANEXOS

Anexo 01: Diseño del Proyecto de Construcción de Viviendas de Interés prioritario.

Anexo 02: Diseño de la Vivienda Tipo en Hormigón.

Anexo 03: Diseño de la Vivienda Tipo en Ferrocemento.

Anexo 04: Instalación Eléctrica.

Anexo 05: Instalación hidráulica.

Anexo 06: Instalación Sanitaria.

Anexo 07: Cronograma Vivienda en Hormigón Armado.

Anexo 08: Cronograma Vivienda en Ferrocemento.