

Evaluación de la viabilidad financiera y ambiental de la construcción de vivienda de interés social a partir de Unidades de Construcción de Acero Intermodal (ISBU)

Jhonatan Ferney Acosta Rojas

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Diego Leandro Blanco

MsC. Ingeniería Civil & MsC. Finanzas

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga

2018

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción .....	133
1. Objetivos.....	166
1.1 Objetivo General .....	166
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. VIS y construcción con principios de sostenibilidad.....	17
2.1 Marco Referencial.....	17
2.2 Políticas, regulaciones y acceso a subsidios, para VIS .....	177
2.3 Parámetro económico.....	18
2.4 Parámetro ambiental .....	18
3. Marco referencial.....	19
3.1 Contenedores ISO .....	19
3.1.1 Descripción de los contenedores.....	19
3.1.1.1 Normativa ISO.....	19
3.1.2 Especificaciones técnicas contenedores .....	20
3.1.2.1 Sistema estructural.....	20
3.1.2.2 Dimensiones. ....	21
3.1.2.3 Envolvente.....	22
3.1.3 El contenedor de carga ISO como ISBU.....	22
3.1.4 Construcción con contenedores, antecedentes. ....	22
3.1.5 Tipología constructiva.....	23
3.2 Certificación LEED .....	24

3.2.1	Definición.....	24
3.2.2	Evaluación ambiental vivienda ISBU.....	24
3.2.3	Requerimientos LEED.....	25
3.2.3.1	Locación y transporte (LT).....	25
3.2.3.2	Sitios sostenibles (SS).....	26
3.2.3.3	Eficiencia del uso de agua (WE).....	26
3.2.3.4	Energía y atmosfera (EA).....	26
3.2.3.5	Materiales y Recursos(MR).....	27
3.2.3.6	Calidad ambiental interior (EQ).....	27
3.2.3.7	Innovación (IN).....	27
3.2.3.8	Prioridad regional (RP).....	28
4.	Proceso constructivo para el sistema ISBU.....	28
4.1	Etapas.....	28
4.1.1	Fundación.....	28
4.1.2	Transporte, elevación de módulos y montaje.....	28
4.1.3	Conversión del contenedor a ISBU.....	29
4.1.3.1	Consideraciones térmicas.....	29
4.1.3.2	Consideraciones Acústicas.....	30
4.1.3.3	Instalaciones redes hidrosanitarias, eléctricas y de gas.....	30
4.1.3.4	Consideraciones ambientales.....	30
5.	Metodología y diseño de la investigación.....	31
5.1	Diseño.....	31
5.1.1	Consideraciones físicas del modelo de vivienda VIS propuesto.....	31

5.1.2	Evaluación de los costos de construcción. ....	31
5.1.3	Evaluación del tiempo de ejecución del proyecto. ....	32
5.1.4	Evaluación ambiental. ....	32
5.1.5	Limitaciones del estudio. ....	32
5.2	Especificaciones de los Modelos de estudio. ....	33
5.2.1	Procesos aplicables a ambas metodologías constructivas. ....	33
5.2.1.1	Detalles del diseño arquitectónico. ....	33
5.2.1.2	Cimentación:.....	35
5.2.1.3	Cubierta. ....	35
5.2.1.4	Acabados .....	35
5.2.1.5	Servicios domiciliarios .....	35
5.2.2	Ítems y Materiales principales en el sistema Mampostería confinada. ....	35
5.2.3	Ítems y Materiales principales en el sistema ISBU. ....	36
5.2.4	Proceso de jerarquización de actividades. ....	36
5.2.5	Asignación de cantidades de obra y rendimientos. ....	37
5.2.6	Asignación de recursos y costos. ....	37
5.3	Evaluación financiera - Análisis de precios unitarios. ....	37
5.4	Evaluación ambiental – Certificado LEED. ....	38
5.4.1	Limitaciones evaluación LEED. ....	38
6.	Resultados. ....	38
6.1	Evaluación del costo total de la etapa constructiva .....	38
6.1.1	Referencia. ....	38
6.1.2	Evaluación. ....	40

6.1.2.1	Metodología tradicional.....	40
6.1.2.2	Metodología ISBU.....	40
6.2	Impacto financiero de las Sub-etapas constructivas. ....	40
6.2.1	Modelo tradicional. ....	40
6.2.2	Modelo ISBU. ....	41
6.2.3	Análisis de costos por etapa constructiva.....	41
6.3	Evaluación del Tiempo de ejecución.....	43
6.4	Evaluación del impacto ambiental de la vivienda ISBU .....	45
7.	Conclusiones.....	47
7.1	Conclusión financiera .....	47
7.2	Conclusión Ambiental .....	49
7.3	Conclusión general.....	49
8.	Recomendaciones .....	50
	Referencias Bibliográficas.....	52

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Especificación de medidas de los contenedores Dry van tipo High Cube .....	21
Tabla 2. Costos estimados por áreas de trabajo – Método tradicional .....	42
Tabla 3. Costos estimados por áreas de trabajo – Método ISBU .....	43
Tabla 4. Duración general del proyecto Método Tradicional.....	43
Tabla 5. Duración general del proyecto Método ISBU .....	44
Tabla 6. Puntajes estimados certificación LEED v4 for Homes para sistemas constructivos de Mampostería confinada (MC) e ISBU.....	46

**Lista de Figuras**

Figura 1. Modelo arquitectónico en planta propuesto como solución VIS. ....	34
Figura 2. Costos directos e indirectos de desarrollo inmobiliario. ....	39
Figura 3. Contribución al costo total- Método tradicional. ....	40
Figura 5. Contribución al costo total- Método ISBU. ....	41
Figura 6. Precio por m2 vs Área ofertada.....	48

### **Lista de Apéndices**

**(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)**

Apéndice A. Estructura de desarrollo de Trabajo (EDT) para el sistema de Mampostería Confinada

Apéndice B. Estructura de desarrollo de Trabajo (EDT) para el sistema ISBU

Apéndice C. Análisis de Precios Unitarios para los sistemas de Mampostería Confinada e ISBU

Apéndice D. Estudio de créditos para la certificación LEED

Apéndice E. Checklist LEED para los sistemas de Mampostería Confinada e ISBU

## Resumen

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD FINANCIERA Y AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL A PARTIR DE UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN DE ACERO INTERMODAL (ISBU)\*

**AUTOR:** JHONATAN FERNEY ACOSTA ROJAS\*\*

**PALABRAS CLAVE:** UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN DE ACERO INTERMODAL (ISBU), VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS), CONSTRUCCIÓN EN MAMPOSTERÍA CONFINADA.

### DESCRIPCIÓN:

La denominada Unidad de Construcción de Acero Intermodal (ISBU), es una de las técnicas de construcción de vivienda que va ganando impulso en todo el mundo y promueve una visión común entre las construcciones ecológicas y la reutilización de materiales. Esta metodología constructiva ha surgido a raíz del constante cambio de los entornos culturales y sociales, que a su vez generaran interés en la implementación de nuevos sistemas constructivos, materiales y diseños que se desempeñen en marcos de optimización y potencialidad. Dado que el desarrollo de este tipo de construcciones en Colombia aun es limitado, esta investigación evaluó la viabilidad financiera y ambiental, con fin de ser empleado en proyectos de vivienda de interés social unifamiliares de una sola planta. Para ello se hace un Análisis de Precios Unitarios de las actividades componentes de los sistemas constructivos de Mampostería Confinada e ISBU y se estima los costos directos asociados únicamente a la etapa constructiva correspondiente. Posteriormente se evalúa el desempeño financiero frente a la oferta promedio de VIS en Colombia, teniendo en cuenta costos directos restantes. Por otra parte, con el objetivo de estimar los puntajes para la certificación LEED se analizan y evalúan los criterios de la versión V4 Homes, para vivienda sostenible.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Diego Leandro Blanco, MsC Ingeniería Civil & MsC Finanzas

**Abstract**

**TITLE:** EVALUATION OF THE FINANCIAL AND ENVIRONMENTAL VIABILITY OF THE CONSTRUCTION OF SOCIAL INTEREST HOUSING FROM INTERMODAL STEEL BUILDING UNITS (ISBU) \*

**AUTHOR:** JHONATAN FERNEY ACOSTA ROJAS \*\*

**KEYWORDS:** INTERMODAL STEEL CONSTRUCTION UNIT (ISBU), SOCIAL INTEREST HOUSING (SIH). CONFINED MASONRY BUILDING

**DESCRIPTION:**

The known Intermodal Steel Construction Unit (ISBU) is one of the housing construction techniques that are gaining momentum around the world and promotes a common vision between ecological constructions and reused materials. This constructive methodology has arisen as a result of constant change in cultural and social environments, which in turn generated interest in the implementation of new construction systems, materials and designs that work in optimization and potentiality frameworks. Given that the development of this type of construction in Colombia is still limited, this research assesses the financial and environmental viability, in order to be used in single-family social interest housing projects. To do this, a Unit Price Analysis of the component activities of the construction systems of Confined Masonry and ISBU is made and the direct costs associated only with the corresponding construction stage are estimated. Subsequently, the financial performance against the average VIS offer in Colombia is evaluated, taking into account the remaining direct costs. On the other hand, considering the proposed models, it is estimated the scores for Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) certification issued by The U.S. Green Building Council (USGBC), the criteria of the V4 Homes version for sustainable housing are analyzed and evaluated.

---

\*Bachelor Thesis

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Diego Leandro Blanco, MsC Ingeniería Civil & MsC Finanzas

## Introducción

La vivienda de interés social en Colombia ha hecho frente al déficit habitacional del sector de la población que no está en condición de acceder a una vivienda digna. Mediante la aprobación de la ley de vivienda 1537 de 2012 se inició la construcción de un millón de viviendas nuevas, enmarcadas en una visión integral que contempla el fácil acceso a estas por parte de las familias colombianas, y que busca consolidar el modelo de oferta y demanda de la política de vivienda. Aunque el estado ha movilizado recursos y herramientas para cumplir con estos objetivos, aún existen muchos desafíos en materia de oferta y acceso. La generación del mercado de vivienda sostenible y asequible aún no ha salido a la luz, debido a la falta de disponibilidad de productos, las limitaciones de la tierra y la infraestructura, así como a los retrasos en la adquisición y aprobación.

Actualmente 2.2 millones de hogares colombianos no han solucionado su problema habitacional, según lo explica Mauricio Hernández Economista del BBVA Research, lo que indica que la oferta de VIS aun es insuficiente (Grandett, 2017).

Los avances trimestrales en materia de construcción de vivienda para el 2017 se registraron en 222.363 unidades de vivienda en proceso de construcción, de las cuales 68.279 unidades se destinaron a vivienda tipo VIS ( Boletín Técnico III Trimestre 2017 DANE Vivienda VIS y no VIS,2016,p.13). El total de viviendas edificadas se construyeron utilizando metodologías convencionales, sin involucrar medios sustentables.

De acuerdo con los datos obtenidos por el DANE y Camacol, a nivel nacional el sistema constructivo más empleado para VIS y No VIS es la mampostería confinada con un 62%,

seguida por el sistema industrializado con el 19%, mampostería estructural con 15% y otras alternativas con el 4%; especialmente en las ciudades de Bogotá, Medellín y Bucaramanga, la mampostería confinada alcanza un 71,52 % (Construdata, 2013b).

A pesar de existir gran variedad de sistemas constructivos sostenibles que pueden ser implementados, se evidencia la falta de profundización en esta materia. Según la serie de Guías de Asistencia Técnica para la Vivienda de Interés Social - Materiales en la construcción de VIS (2011), el 40 % de los materiales extraídos de la naturaleza están estrechamente relacionados con la actividad de la construcción, con el 17 % del consumo de agua y el 25 % de la explotación de madera. Así mismo, el sector consume el 50 % de la energía eléctrica que se produce y el 50 % del consumo de combustibles fósiles (p.11-12).

Con base en estas cifras, esta investigación estudia la viabilidad del uso de un concepto moderno de construcción basado en unidades de acero intermodal (ISBU), como una solución alternativa a la generación de vivienda Sostenible con enfoque de acceso a los subsidios gubernamentales y con orientación especial en la reducción del impacto ambiental generado.

Bajo el enfoque de reutilización y búsqueda del aprovechamiento de materiales en desuso, la construcción de vivienda con Container marítimo, mejor conocida como Unidad de construcción de acero intermodal (ISBU), busca consolidarse como una forma versátil e integrada para generar espacios de vivienda amigable y sustentable.

Es válido afirmar que este tipo de construcciones ya han sido ejecutadas como soluciones de oficinas modulares, locales comerciales y principalmente vivienda. Sin embargo, ¿es viable desarrollar proyectos de vivienda de interés social utilizando esta técnica constructiva?

La industria de la construcción de vivienda ha permanecido durante los últimos años como uno de los sectores más estables de la economía colombiana, siendo objeto de desarrollo social

frente a contextos fiscales adversos, inflación creciente y elevadas tasas de interés (Departamento de Estudios Económicos y Técnicos CAMACOL, 2017).

El constante cambio de los entornos culturales y sociales ha generado interés en la implementación de nuevos sistemas constructivos, diseños y materiales con características potenciadas de desarrollo. A estas características, se ha sumado recientemente el componente ambiental, que promueve el uso racional de los recursos, siendo un aspecto capaz de representar la identidad de un proyecto.

Actualmente el empleo de materiales reciclables para construcción de vivienda ha tenido un desarrollo interesante, adaptando un sinnúmero de soluciones de bajo costo y alto desempeño. Estas iniciativas hacen frente a los problemas que impactan permanentemente el ambiente de la ciudad, como lo es la alarmante generación de Residuos de construcción y demolición (RCD), que hoy día en la ciudad de Bucaramanga, alcanza 4.642,32 Ton/año (Departamento técnico PGIRS Bucaramanga, 2016).

Además del enfoque sostenible que encamina las nuevas tendencias, es necesario identificar cuáles de las alternativas son las más eficientes en materia financiera, ambiental y social, dando solvencia a la necesidad habitacional de las familias colombianas de bajos recursos. Para esto es imprescindible realizar un análisis detallado y medido de aspectos representativos de la metodología constructiva con contenedores propuesta como objeto de evaluación en esta investigación. De esta manera se proporcionan mediante el sustento teórico, un diagnóstico en la viabilidad y ejecución de este tipo de proyectos en la industria de la construcción de espacios habitables en Colombia.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar la viabilidad financiera y ambiental en la construcción de viviendas de interés social a partir de unidades de construcción de acero intermodal (ISBU).

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la viabilidad financiera de la etapa constructiva y su comparación con un sistema de referencia (mampostería confinada).
- Evaluar la viabilidad ambiental ante los criterios de la USGBC para certificación de vivienda sostenible LEED y compararla con un sistema de referencia (mampostería confinada)

## **2. VIS y construcción con principios de sostenibilidad**

### **2.1 Marco Referencial**

La vivienda de interés social (VIS) debe cumplir con los parámetros de calidad de una vivienda adecuada, de acuerdo con lo dicho en el folleto informativo # 21: El derecho humano a una vivienda adecuada, de la Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos de la ONU, adicionalmente su diseño y construcción deben velar por el uso sostenible de los recursos naturales (Diaz Reyes & Ramirez Luna, 2011, p.11).

Es claro que la construcción de vivienda se rige bajo parámetros sociales, financieros y ambientales que se presentan en conjunto bajo la condición permanente de sostenibilidad. Estos aspectos de la calidad de vivienda y uso sostenible de los recursos abarcan ítems tales como áreas habitables adecuadas, seguridad jurídica, disponibilidad de servicios, lugar y adecuación cultural; consumo de agua y energía, seguridad, eficiencia de la vivienda y disposición de residuos sólidos. Todos confieren a la vivienda la condición de habitabilidad y como es lógico es necesario satisfacer estas características (Ministerio de Vivienda, 2014).

### **2.2 Políticas, regulaciones y acceso a subsidios, para VIS**

El Gobierno Nacional, para el periodo 2015-2018, destino recursos para facilitar a los hogares colombianos con ingresos de hasta 8 smmlv, la financiación de viviendas nuevas urbanas cuyo valor no supere los 135 smmlv.

Según el (Ministerio de Vivienda, 2018), el subsidio a la tasa de interés del gobierno Nacional ayuda a los colombianos con el pago de hasta el 30% de la cuota mensual del crédito hipotecario.

Por otra parte, la VIS en Colombia, debe regirse dentro de la normativa técnica vigente; actualmente la construcción de vivienda debe dar solvencia a condiciones de servicio y seguridad que se contemplan en: Norma Sismo Resistente-NSR 10, Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, código colombiano de fontanería, Reglamento Técnico de instalaciones eléctricas RETIE y finalmente Manual de Especificaciones Técnicas de Construcción (Diaz Reyes & Ramirez Luna, 2011b).

### **2.3 Parámetro económico**

La gestión de proyectos, según lo define el Project Management Institute (PMI), está compuesta por tres parámetros esenciales: costo, tiempo y alcance. Usualmente el balance correcto de estos factores es determinante para el éxito y rentabilidad de cualquier propuesta (Sánchez de la Cruz, 2011); como es el caso, la construcción de una vivienda con contenedores se contempla bajo condiciones de recursos y costos subsidiados límite.

Al postularse como una alternativa rentable de construcción de vivienda, se sitúa dentro de un marco de competitividad con otras técnicas constructivas, especialmente con la vivienda de mampostería confinada como punto de referencia.

### **2.4 Parámetro ambiental**

Con el paso de los años el componente ambiental ha sido extensivo como aspecto social, económico, político y cultural. Producto de las relaciones proyecto-ambiente que conducen al deterioro o pérdida de la calidad ambiental, ha surgido un claro interés de la sociedad por buscar el balance correcto de aspectos productivos. Con esto se empieza a consolidar la implementación de prácticas sostenibles con fines de generar un equilibrio con el medio ambiente y revertir o al menos reducir la tasa de deterioro (Arboleda, 2008).

Dentro de las iniciativas de la industria constructiva que hacen frente a los problemas que impactan permanentemente el ambiente de la ciudad, se encuentra el uso de material reciclable. Una técnica constructiva que va ganando impulso en todo el mundo y abre su camino hacia una mayor conciencia general en la reutilización de materiales y construcciones ecológicas es la construcción con contenedores. Según Carlos Barón, esta técnica ilustra las tres premisas básicas de la sostenibilidad aplicada, las tres famosas erres: reducir, reciclar y reutilizar, proponiéndolo como un ejemplo de reducción de residuos y de consumo energético (Barón, s. f.).

### **3. Marco referencial**

#### **3.1 Contenedores ISO**

**3.1.1 Descripción de los contenedores.** El contenedor es un módulo diseñado para el transporte de mercancía ya sea por vía terrestres o marítimas y su protagonismo le sitúa como una de las alternativas más eficientes de movimiento de mercancía.

Su estructura prismática está compuesta por un armazón de acero, láminas metálicas plegadas como paredes exteriores y normalmente cuenta con suelo de madera de buenas calidades que inhiben la humedad del módulo.

**3.1.1.1 Normativa ISO.** Las normativa ISO 668:1995 y ISO1496-1: 1990 permiten la unificación de las especificaciones técnicas que debe tener el módulo de transporte.

Dentro de las consideraciones de las normas se tienen en cuenta elementos de anclaje entre contenedores, materiales empleados en el ensamblaje, revestimiento, así como otras consideraciones estructurales como cargas de diseño y para el caso de interés, dimensiones (Smith, 2006).

### **3.1.2 Especificaciones técnicas contenedores**

**3.1.2.1 Sistema estructural.** El contenedor ISO está diseñado para soportar cargas de hasta 6 contenedores, sin embargo, esta condición se obtiene cuando sus paredes no se ven afectadas por cortes (Milanković, Milanović, Agarski, Ilić, & Crnobrnja, 2013). Como es el caso de la construcción con contenedores, la necesidad de adicionar espacios de ventilación y tránsito como ventana y puertas, implica en el mismo oficio la debilitación de la estructura en medida al número de cortes necesarios para satisfacer estas necesidades arquitectónicas (Bris, Nuere, Bendito, & Saint-Supery, 2010).

Como mecanismo de refuerzo para las zonas potencialmente deformables, se utilizan postes o columnas de acero que evitan el hundimiento en las zonas donde se han eliminado paredes del contenedor, teniendo en cuenta que la cantidad de refuerzo es proporcional al material eliminado de la estructura original.

Otro de los requerimientos estructurales del sistema se sitúa en las zonas de anclaje entre contenedores y a la fundación de la estructura. Dado que el módulo está diseñado para anclarse a otros contenedores mediante mecanismos conocidos como twislocks, se facilita el ejercicio de aseguramiento. Este método es aplicable también a la base o fundación, aunque es recomendable asegurar el contenedor mediante soldadura directa a la placa de fundación (Molina Maragaño, 2014; Moore, Yildirim, & Baur, 2015).

El peso de la estructura se transfiere a través del contacto vertical sobre las conexiones en los pilares esquineros. Este mecanismo de anclaje provee ventajas estructurales de ensamblaje y fundación. De esta forma estas características simplifican los procesos de diseño (Infante Páez, 2014).

La prueba de carga impuesta para un techo de contenedores de envío ISO es 300 kg sobre un área de 0.18m<sup>2</sup> que se traduce en 16,35 kN/m<sup>2</sup>. Como comparación, en una vivienda típica se requiere una capacidad de carga uniforme de 1.2 kN/m<sup>2</sup> (Smith, 2006).

**3.1.2.2 Dimensiones.** Existen diferentes tipos de contenedores de carga, por esta razón sus dimensiones varían de una clase a otra.

Para el propósito de construcción de vivienda, las dimensiones comúnmente usadas son de 6.0 m o 12.0 m de longitud, 2.4 m de ancho y con el objetivo de dar cumplimiento a las especificaciones técnicas arquitectónicas para VIS se seleccionan los contenedores que puedan satisfacer la mínima altura requerida (h=2,3m) para clima cálido, según lo establece el Manual de especificaciones técnicas arquitectónicas; por esta razón se usa el contenedor de 2,9 m de altura (Ministerio de Vivienda, 2014). Estos contenedores son comercialmente conocidos como High Cube, denotándose como 20'HC o 40'HC (Darko et al., 2013 ; Barón, s. f.).

**Tabla 1.**

*Especificación de medidas de los contenedores Dry van tipo High Cube*

Especificaciones de contenedores de envío de 40' HC- 12 m y 20' HC- 6m de largo				
Modelo	Longitud(m) interna/externa	Ancho(m) interna/externa	Altura(m) interna/externa	Capacidad (m <sup>3</sup> )
20' HC- 6 m	5.9/6.0	2.34/2.40	2.71/2.89	37.4
40' HC- 12 m	12.0/12.2	2.34/2.40	2.71/2.89	76.1

*Nota.* Especificaciones técnicas para contenedores marítimos Contemaq Ltda.

**3.1.2.3 Envolverte.** Se construyen con acero Cor-ten, material desarrollado por la United States Steel Corporation en la década de 1930, en respuesta a las condiciones que el transporte de material de minería exigía. Así pues, el acero Cor-Ten está diseñado para soportar los rigores de la intemperie, esta propiedad se adquiere mediante la manipulación cuidadosa de los elementos de aleación (Carbono, Cromo, silicio, fosforo) añadidos a los aceros durante el proceso de producción, que según su proporción definen los atributos exactos requeridos. Esto soluciona en gran medida los efectos relacionados con la exposición a elementos naturales ,especialmente las sales y minerales presentes en el agua de mar (Molina Maragaño, 2014).

**3.1.3 El contenedor de carga ISO como ISBU.** Después de terminada su vida útil como mecanismo de transporte, los contenedores empleados para la construcción de edificaciones son llamados Unidad de Construcción de Acero Intermodal por sus siglas en ingles ISBU.

Sin embargo, la unidad de construcción no cuenta con los requerimientos de habitabilidad por lo que requiere modificaciones. Estas incluyen la configuración de capas envolvente de protección termo acústica, sistemas de ventilación, iluminación y demás características ambientales del módulo (Milanković et al., 2013).

A su vez, estas características dificultan el uso del contenedor como una ISBU, pues los códigos de construcción colombiana no cuentan con regulaciones propias de la técnica constructiva.

**3.1.4 Construcción con contenedores, antecedentes.** El empleo de contenedores ISO como elemento constructivo principal dentro de un entorno arquitectónico ha tenido un desarrollo interesante en los últimos años, especialmente en países europeos donde se usa como opción válida para la construcción de vivienda (Martinez Santiago, 2016). Cabe resaltar que la

ISBU es ampliamente empleada como solución transitoria, con diferentes tipologías y diferentes resultados; almacenamiento, puesto de salud, emergencia, oficinas, comercio, son algunos de los usos más comunes en el medio.

La arquitectura con contenedores representa una forma innovadora de aprovechar espacios inicialmente proyectados para almacenaje, y transformarlos en lugares habitables.

Comparado con otros sistemas constructivos, la construcción con contenedores es relativamente nueva. El diseño de este tipo de construcciones emerge de las existentes tipologías constructivas, especialmente de la construcción modular, por lo cual comparten técnicas de ambientación, fachada y disposición arquitectónica de espacios (Robinson & Swindells, 2012).

Hasta hoy existen un sin número de proyectos de construcción que tienen como elemento principal el uso del contenedor ISO, unas de las construcciones más representativas de este tipo es Tempo Housing en Keetwonen Alemania, una edificación construida con 1000 unidades.

**3.1.5 Tipología constructiva.** El contenedor es una unidad simple diseñada para ser compatible modularmente con otros elementos similares. La condición prismática del contenedor y su normalización le confieren la cualidad de ser dispuestos en diferentes configuraciones horizontales o verticales, además de contar con un sistema estructural fuerte capaz de soportar hasta 6 contenedores apilados, cada uno con una carga de 24 ton, lo cual desde un punto constructivo se traduce en un requerimiento mínimo de otros elementos supletorios (Pulgar Mancebo, Álvarez Gil, & Ventura Blanch, 2013; Botes, 2013; Bris et al., 2010).

Similar a los productos industriales, esta técnica constructiva puede adquirir un perfil de manufactura, teniendo en cuenta que a partir del diseño modular el contenedor puede ser una alternativa relativamente rápida y sencilla de ensamblaje.

## 3.2 Certificación LEED

**3.2.1 Definición.** LEED es el sistema de Calificación de Construcciones sustentables, dirigido a todos los tipos de edificaciones y es referencia internacional para el diseño con alto rendimiento.

El sistema LEED reconoce el desempeño en localización y planificación, desarrollo sostenible de sitios, ahorro de agua, eficiencia energética, selección de materiales, reducción de desechos, calidad ambiental en interiores, estrategias innovadoras y atención a temas regionales prioritarios. Actualmente ha emitido más de 90000 certificados en alrededor de 165 países y territorios (U.S. Green Building Council, 2015a).

Según el Concejo Colombiano de Construcción Sostenible, al 31 de agosto de 2017 hay 105 edificaciones con certificados LEED y 235 en proceso de certificación. Con esto, los proyectos que utilicen el LEED podrán cumplir las normas obligatorias derivadas de la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, la cual entró en vigor en junio de 2016 (MinVivienda, 2015; CCCS, 2010).

**3.2.2 Evaluación ambiental vivienda ISBU.** La certificación LEED abarca tanto los sistemas de planeación, gestión y desarrollo de cualquier tipología constructiva y ciclo de vida de la edificación.

Dentro de estas categorías se encuentran:

- ✓ Building Design and Construction
- ✓ Interior Design and Construction
- ✓ Building operation and Maintenance
- ✓ Neighborhood Development
- ✓ Homes

Cada tipo de certificación identifica ciertas áreas de evaluación según el enfoque de la categoría. De acuerdo con el puntaje acumulado en los parámetros que la componen se otorga el tipo de certificación (U.S. Green Building Council, 2013).

**3.2.3 Requerimientos LEED.** “La certificación LEED esta categorizada para diferentes tipos de proyectos, “Desde hospitales hasta centros de datos, desde edificios históricos hasta aquellos en fase de diseño, hay un LEED para cada tipo de proyecto de construcción”(U.S. Green Building Council, 2015-2017).

Esta investigación evalúa los modelos propuestos en la categoría “Homes” la cual se aplica a casas unifamiliares y multifamiliares de poca altura (de una a tres plantas) o mediana altura (de cuatro a seis pisos).

Esta categoría, al igual que otras de su misma índole, basa su evaluación en un proceso integrativo de componentes medioambientales; según lo especifica el reporte *Guide to Certification Homes*, los objetivos de cada componente son:

**3.2.3.1 *Locación y transporte (LT)*.** Evalúa la ubicación de sitios que promuevan patrones ambientalmente responsables de uso de la tierra y que ofrecen ventajas medioambientales sobre desarrollos convencionales. Los desarrollos bien ubicados aprovechan la infraestructura previamente construida, especialmente carreteras, agua y líneas de alcantarillado. (U.S. Green Building Council, 2013, p.30)

**3.2.3.2 *Sitios sostenibles (SS)*.** La forma en que se incorpora un edificio al sitio puede beneficiar o dañar los ecosistemas locales y regionales. Las decisiones tomadas en el proceso de diseño pueden solucionar necesidades de gestión a largo plazo, principios de preservación y los posibles efectos en los ecosistemas locales y regionales, además de resultar en un paisaje atractivo y fácil de mantener. (U.S. Green Building Council, 2013, p.34)

**3.2.3.3 *Eficiencia del uso de agua (WE)*.** Muchas estrategias de conservación del agua no implican ningún costo adicional o reembolsos a corto plazo; otras, como la recolección de agua de lluvia y los sistemas de plomería de aguas grises, a menudo implican una inversión adicional. En la certificación son posibles dos vías. Por una parte, los equipos de proyecto analizan el uso total de agua, tanto en interiores como en al aire libre. La otra vía otorga puntos por uso de agua en interiores y uso de agua al aire libre por separado. (U.S. Green Building Council, 2013, p.37)

**3.2.3.4 *Energía y atmosfera (EA)*.** El hogar LEED certificado promedio usa de 30% a 40% menos de electricidad y ahorra más de 100 toneladas métricas de emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de su vida útil. Inversiones modestas en el ahorro de energía y otras tecnologías amigables con el clima pueden hacer que los hogares y las comunidades sean más saludables, lugares cómodos, duraderos, energéticamente eficientes y ambientalmente responsables para vivir. (U.S. Green Building Council, 2013, p.39)

**3.2.3.5 Materiales y Recursos(MR).** La elección de los materiales de construcción es importante para la construcción de viviendas sostenible debido a la extracción, procesamiento, y el transporte que requieren junto con el impacto ambiental que estas actividades puedan generar.

Las fuentes deben evaluarse cuando los materiales son seleccionados para un proyecto. Los materiales sustituidos, de contenido reciclado, pueden ahorrar costos y reducir el uso de recursos. (U.S. Green Building Council, 2013, p.41)

**3.2.3.6 Calidad ambiental interior (EQ).** En general, hay tres tipos de estrategias: eliminación de fuente, control de fuente, y dilución. Las estrategias de control de fuente se enfocan en capturar los contaminantes que se sabe que existen en un hogar. Evaluar las propiedades de los materiales empleados y seleccionar aquellos con niveles bajos de desgasificación potencialmente irritante pueden reducir la exposición de los ocupantes. Por ejemplo, filtrando la corriente de aire de suministro, se elimina las partículas que de otra manera serían recirculadas continuamente a través de la casa. La dilución implica el uso de aire fresco del exterior para ventilar una casa y expulsar los contaminantes al exterior. Esto puede también ayudan a controlar la humedad dentro del hogar. (U.S. Green Building Council, 2013, p.42)

**3.2.3.7 Innovación (IN).** Un buen diseño puede mantener bajos los costos y garantizar la integración adecuada de técnicas, estrategias ecológicas y el logro de los objetivos del proyecto.

La categoría de crédito de Innovación (IN) fomenta la planificación y el diseño del proyecto para mejorar la coordinación e integración de los diversos elementos en un hogar ecológico. (U.S. Green Building Council, 2013, p.43)

**3.2.3.8 Prioridad regional (RP).** Estos créditos Prioritarios Regionales alientan a los equipos de proyecto a enfocarse en sus prioridades ambientales. El USGBC estableció un proceso que identificó seis créditos RP para cada ubicación y cada sistema de calificación dentro de límites de capítulos o países. Debido a que cada tipo de proyecto puede estar asociado con diferentes impactos ambientales, cada sistema de calificación tiene sus propios créditos RP. (U.S. Green Building Council, 2013, p.45)

## 4. Proceso constructivo para el sistema ISBU

### 4.1 Etapas

**4.1.1 Fundación.** La vivienda con contenedores requiere al igual que cualquier otra, una fundación estable sobre la cual cimentarse. Actualmente las metodologías de cimentación para este tipo de construcciones son losa de concreto y base de pilares en concreto.

Tradicionalmente el uso de losa de cimentación es preferido en los proyectos de vivienda unifamiliar de baja altura. Este sistema de fundación es una metodología que proporciona una plataforma de construcción sencilla y estable para la vivienda con contenedores. Las unidades modulares se colocan sobre la losa y se aseguran a la misma mediante pernos u otros accesorios de anclaje (Moore et al., 2015).

**4.1.2 Transporte, elevación de módulos y montaje.** El diseño del contenedor ISO contempla el transporte terrestre por lo que es adaptable a los medios de transporte de carga automotor. Por otra parte, dado el tamaño del módulo, este debe ser elevado por maquinaria pesada (grúas) y ser dispuesto en el lugar destinado, como es debido esta labor debe ser

ejecutada por personal profesional capacitado y bajo las consideraciones de seguridad necesarias.

**4.1.3 Conversión del contenedor a ISBU.** Las características de fabrica del Contenedor no le confieren por si mismas condiciones de habitabilidad por lo que se deben complementar con sistemas de aislamiento termo acústico, además de habilitar y adaptar las superficies del módulo de acuerdo a las necesidades arquitectónicas (Lopes, Loiola Tonin, & Sampaio, 2016).

**4.1.3.1 Consideraciones térmicas.** La construcción con contenedores cuenta con dos posibilidades de aislamiento térmico. Generalmente en climas fríos es posible dejar expuesta la capa exterior de acero del contenedor y así limitar los materiales aislantes a las paredes interiores del módulo.

Por otra parte, en climas cálidos es aconsejable emplear el revestimiento térmico en la parte exterior (Robinson & Swindells, 2012). Sin embargo, esta metodología limita la imagen de reciclaje singularmente atractiva que tienen este tipo de construcciones.

Como generalidad, emplear la capa de acero del contenedor como terminación de la envolvente de la vivienda no es aconsejable, dadas las características físicas de este material. La capacidad de acumular energía y alta conductividad e inercia térmica acompañada de la exposición directa a la radiación solar puede suponer una carga térmica importante (Pulgar Mancebo et al., 2013).

**4.1.3.2 Consideraciones Acústicas.** La carcasa del contenedor no cuenta con el rendimiento acústico ideal. La densidad de la pared de acero no le confiere la capacidad de aislar los sonidos de casas adyacentes o calles por lo que es necesario emplear un material que amortigüe estos efectos.

Esto se consigue tratando las superficies del recinto con materiales que permitan la difusividad de la energía acústica en el interior del mismo (Robinson & Swindells, 2012).

Cabe resaltar que la configuración de envolvente empleada con solución térmica también solventa las necesidades de aislamiento acústico.

**4.1.3.3 Instalaciones redes hidrosanitarias, eléctricas y de gas.** Al igual que la vivienda tradicional, una solución con contenedores debe contar con los servicios de que se requieren para su habitabilidad y su instalación debe ceñirse a las normas técnicas nacionales.

**4.1.3.4 Consideraciones ambientales.** Según lo definen las Guías de asistencia para técnica para vivienda de interés social – Calidad en la VIS, toda vivienda debe contar con un área habitable adecuada para sus ocupantes, sistema estructural capaz de soportar amenazas sísmicas y otras consideraciones de protección climática como viento, lluvia, humedad, iluminación y calor. Estos últimos componentes suelen ser abordados bajo guía de diseño para la eficiencia energética en viviendas sociales, que orientan el diseño según zona climática habitacional.

A esto se suman otros componentes de adecuación cultural que contemplan el uso de materiales adecuados y el lugar de construcción (Diaz Reyes & Ramirez Luna, 2011c)

## 5. Metodología y diseño de la investigación

Para el diseño de la metodología de investigación es necesario contemplar los objetivos principales (financiero y ambiental), dentro de marcos que definan instrumentos de medición cualitativa y cuantitativa, la fiabilidad, objetividad y limitaciones de estos. Una vez definidos los métodos de evaluación, se plantearon categorías que contemplan los prerequisites de los sistemas constructivos, los procesos de actividades de construcción donde se incorpora el manejo de recursos, secuencias y duración de etapas constructiva.

### 5.1 Diseño

**5.1.1 Consideraciones físicas del modelo de vivienda VIS propuesto.** El modelo de vivienda propuesto coincide con los estándares actuales de comercialización de VIS, solventando aspectos físicos del desarrollo urbanístico, esto es espacio habitable, diseño del hábitat, materiales de construcción y calidad de estos. El modelo presta especial atención en las consideraciones ambientales de habitabilidad como luz, temperatura, aislamiento de ruido y finalmente, ergonomía de la técnica constructiva.

**5.1.2 Evaluación de los costos de construcción.** El parámetro más importante respecto a la adquisición de una vivienda en Colombia es el costo; la competitividad de un proyecto, en este caso de vivienda puede definirse por este aspecto. Actualmente es estrecho el margen tipológico de las edificaciones de vivienda, por lo que el costo de compra es el principal pilar en la compraventa de vivienda VIS.

Para ello la investigación debe proponer un método cuantitativo de costo del proyecto.

La metodología de cuantificación más usada en la industria colombiana de construcción son los Análisis de precios Unitarios - APU, siendo así, este método será la herramienta de medición para dar solvencia al objetivo de investigación financiero.

**5.1.3 Evaluación del tiempo de ejecución del proyecto.** El tiempo de desarrollo de un proyecto es un componente no menos importante, no es desconocido que su optimización puede llegar a reducir considerablemente los costos del proyecto. Para ello, esta investigación empleara una Estructura de desarrollo de Trabajo por sus siglas en ingles WBS, aplicada a ambos sistemas constructivos; esta metodología consiste en la descomposición jerárquica de actividades enfocada en entregables, de esta forma crea grupos de trabajo ejecutados llamados “Paquetes de trabajo”.

Una vez sean diseñadas las WBS, se analizarán etapas de construcción que abarquen actividades complementarias.

**5.1.4 Evaluación ambiental.** Es importante acuñar que el componente ambiental en conjunto con el financiero y social, son reconocidos como los pilares de la sostenibilidad. Cualquier proyecto está definido por estos tres parámetros, presentándose alguno de ellos de forma acentuada, lo cual define la identidad del proyecto (Merchán Maya, 2013),

De esta forma la investigación evaluó el componente ambiental bajo los parámetros de la USGBC para la certificación LEED V4.

**5.1.5 Limitaciones del estudio.** El modelo diseñado es una de múltiples soluciones de vivienda y no se postula como un modelo único de solución de vivienda VIS. En simultaneo, los materiales supuestos de construcción son susceptibles de reemplazo por otros que solventen necesidades similares de acuerdo con el precio de venta, por lo que el costo de las actividades

que los involucre puede cambiar de igual forma. Por otra parte, el jornal, para las diferentes cuadrillas de trabajo propuestas se somete a ajustes de contratación.

De forma general los costos directos serán una aproximación evaluada en un ambiente real y esta investigación se limitará a la etapa constructiva de los sistemas constructivos propuestos. Dado que el enfoque se hace sobre la Vivienda de Interés Social, no excede el límite del presupuesto establecido en 135 smmlv y por supuesto busca mantener el porcentaje del costo total que representa el valor de la etapa constructiva.

Como se mencionó anteriormente el componente Social no será incluido dentro de la investigación. Su posible evaluación, traducida a aspectos como aceptación de la metodología constructiva en sus componentes estéticos e impacto urbanístico, serán omitidos en este estudio.

## **5.2 Especificaciones de los Modelos de estudio**

A continuación se definen los componentes de construcción involucrados en las etapas constructivas para los sistemas propuestos.

**5.2.1 Procesos aplicables a ambas metodologías constructivas.** Varias de las etapas de construcción de la vivienda son similares en ambos sistemas constructivos, por lo que la ejecución y costo asociado no difieren. Estos se definen a continuación.

**5.2.1.1 Detalles del diseño arquitectónico.** La vivienda propuesta es de tipo unifamiliar de una planta, cuenta con una alcoba principal, 2 alcobas sencillas, dos baños, cocina, sala comedor y patio de ropas, repartidos en 75 m<sup>2</sup> de área construida, tal como se muestra en la Figura 1. Incluye redes para el servicio de agua, luz y servicios sanitarios. El modelo propuesto se basa en las características de una Vivienda de Interés Social unifamiliar en la ciudad de Bogotá, según lo especifica la Edición #184 Revista Construdata.

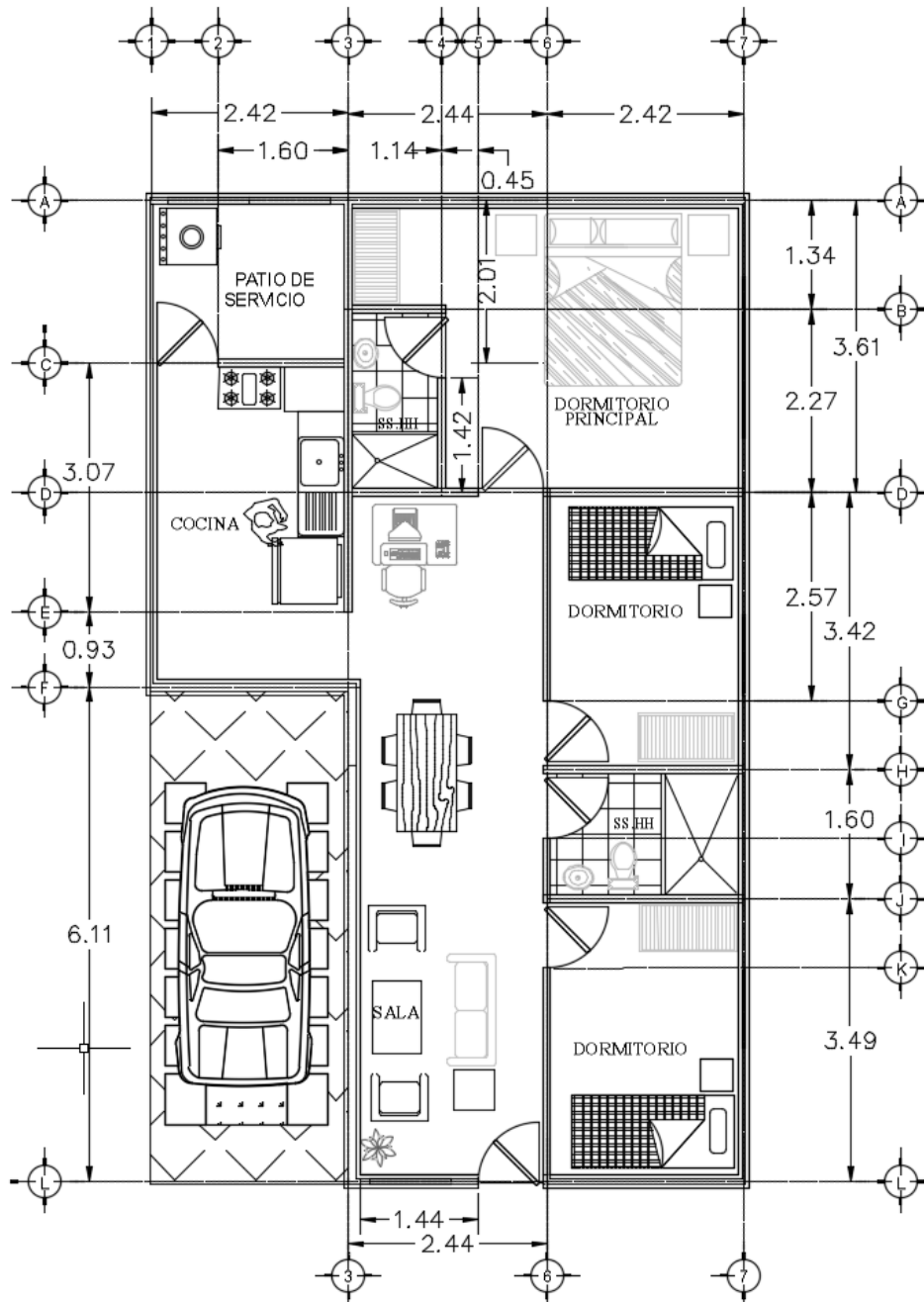


Figura 1. Modelo arquitectónico en planta propuesto como solución VIS.

**5.2.1.2 Cimentación.** Como sistema de cimentación se emplea una losa flotante de área 75 m<sup>2</sup> y espesor de 10 cm en concreto de 1500 Psi con malla electrosoldada, se incluyó actividades de limpieza, replanteo, nivelación y capa de concreto pobre.

**5.2.1.3 Cubierta.** La cubierta esta soportada en perfiles metálicos rectangulares, teja de fibrocemento y al interior de la edificación cielo raso en panel liso de yeso soportado en perfilería metálica.

**5.2.1.4 Acabados.** Se emplea pintura especializada para superficies interiores y exteriores. La carpintería metálica y de madera comprenderá elementos como puertas interiores y puerta exterior con cerrajería, ventanas y cocina integral.

**5.2.1.5 Servicios domiciliarios.** El modelo cuenta con red hidrosanitaria junto con tanque de almacenamiento y punto de acometida principal. Se define el entregable de la red hidrosanitaria en puntos de suministro y puntos de desagüe de 4" y 6". Una red eléctrica completa, comprendiendo accesorios, interruptores plafones, tomacorrientes, con conexión a la red municipal. Se define el entregable de la red eléctrica en puntos de iluminación, puntos de tomacorriente y puntos de Tv.

**5.2.2 Ítems y Materiales principales en el sistema Mampostería confinada.** Para el sistema de construcción de mampostería confinada se emplea como materiales principales.

Muros:

- ✓ Morteros 1:3 como mortero de pega y nivelación
- ✓ Pañete liso 1:4
- ✓ Bloque de ladrillo cocido para muros
- ✓ Concreto 3000 Psi en Columnetas y Encadenados

Pisos:

- ✓ Baldosa cerámica y guarda escoba plástico
- ✓ Morteros 1:3 como mortero de pega y nivelación

**5.2.3 Ítems y Materiales principales en el sistema ISBU.** La etapa principal del sistema de construcción ISBU, se define por el entregable “Conversión”, que aborda los ítems de habitabilidad del módulo.

Transporte:

- ✓ Maquinaria especializada para el transporte y levantamiento de módulos.

Muros:

- ✓ Contenedor marítimo de carga ISO High Cube Dry Van 40 ft y 20 ft, como muros exteriores, techo y suelo.
- ✓ Juntas de goma, soldadura especializada y herramientas de corte.
- ✓ Perfilería metálica de refuerzo.
- ✓ Asilamiento termo acústico de lana mineral
- ✓ Aislante térmico exterior con paneles de PEAD (Polietileno extruido de alta densidad)
- ✓ Muros interiores en Drywall

Pisos: (opcional)

- ✓ Capa de corcho
- ✓ Piso flotante laminado

**5.2.4 Proceso de jerarquización de actividades.** Se elaboran Estructuras de desagregación del trabajo (EDT) para el sistema de construcción en mampostería confinada y el sistema de construcción con unidades de acero intermodal, teniendo en cuenta las relaciones entre actividades y dividida en los entregables de cada metodología.

Con el objetivo de optimizar los tiempos de ejecución entre actividades dependientes, se identificó la ruta crítica de cada metodología.

**5.2.5 Asignación de cantidades de obra y rendimientos.** Una vez establecidas las actividades y los entregables del proyecto específico, se cuantifico las cantidades de material necesarios en cada actividad basados en el diseño arquitectónico propuesto. Una vez terminado el conteo, se estima el tiempo de duración de cada actividad con ayuda de los rendimientos propios según *Tablas de rendimiento y Manuales de mano de obra Camacol*,

**5.2.6 Asignación de recursos y costos.** Los recursos asignados a cada actividad se categorizaron en tres grupos. La estimación del precio en cada uno de los grupos fue definida de la siguiente manera:

- ✓ *Materiales:* Los precios se establecen según catálogos de venta vía web.
- ✓ *Mano de obra:* El Jornal de trabajo es categorizado según el tipo de cuadrilla; la asignación del costo por prestación de servicio está basado en el Informe Especial # 166 Revista Construdata. (Construdata, 2013a).
- ✓ *Herramientas y Equipo:* Se establece el costo de la herramienta menor como el 2% del total de la suma entre el costo de materiales y mano de obra.

### **5.3 Evaluación financiera - Análisis de precios unitarios**

Se efectuó un análisis de precios unitarios basado en las especificaciones de costo y rendimiento para materiales, mano de obra, herramientas y equipo, para cada una de las actividades pertenecientes al sistema de construcción en mampostería confinada y el sistema de construcción con unidades de acero intermodal.

Los resultados son comparados finalmente con APU estimados por el *IDRC y Revista Construdata*.

#### **5.4 Evaluación ambiental – Certificado LEED**

Como se explica en el Capítulo 3, cada componente desarrollado en la categoría se desagrega a su vez en ítems que califican aspectos específicos, estos puntúan dentro de un rango establecido de acuerdo con el cumplimiento de la cualidad evaluada. Finalmente, el tipo de certificación se asigna según el valor de la sumatoria de puntos obtenidos. La Tabla 3 muestra el formato de puntuación.

**5.4.1 Limitaciones evaluación LEED.** Los modelos propuestos para ambos sistemas constructivos suponen características similares en aspectos de localización, eficiencia en el uso de servicios domiciliarios y arquitectura ambiental (Luz natural, ventilación). Esto implica que los ítems de evaluación de la certificación LEED que contemplan estas propiedades obtienen la misma calificación.

### **6. Resultados**

#### **6.1 Evaluación del costo total de la etapa constructiva**

**6.1.1 Referencia.** La estimación de costos directos e indirectos constituye uno de los aspectos centrales en la evaluación de cualquier proyecto, al ser determinante en la estimación de la rentabilidad (Salazar, 1969).

En cumplimiento del objeto financiero de esta investigación, se estimó el impacto de los gastos aplicados a productos determinados; tales como materiales, mano de obra y equipos necesarios en el proceso productivo, frente a la suma de los gastos relacionados a los procesos técnicos administrativos y de operación necesario. .

La Figura 2 identifica el impacto porcentual de cada grupo de gastos requeridos en el desarrollo inmobiliario.

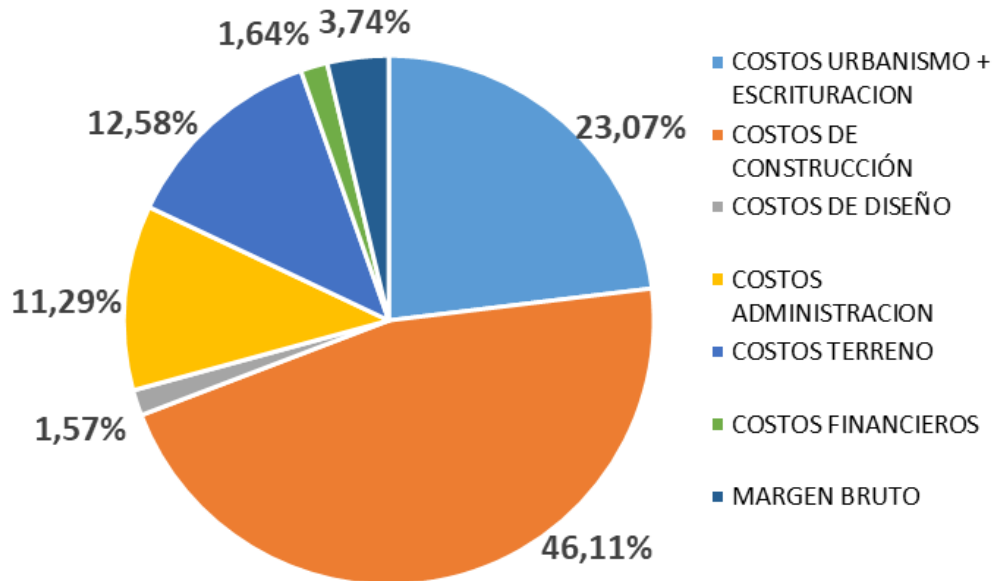


Figura 2. Costos directos e indirectos de desarrollo inmobiliario. Adaptado de (Piñeres, Guzman, Medrano, Rincón, & Veracachá, 2015)

Los porcentajes son una estimación tomada del Artículo: “Análisis de los costos directos de una VIS en Bogotá DC y su influencia en el Déficit Habitacional”

Se evidencia que los costos de construcción son el grupo de mayor influencia sobre el costo total de un proyecto inmobiliario VIS, seguido por los costos de Terreno y costos indirectos tales como Urbanismo y Administración (Piñeres et al., 2015).

El impacto porcentual de la etapa constructiva valorado en 46,11%, equivale a 62,24 smmlv (\$ 45.921.776,67) del tope límite para una Vivienda de interés social (VIS) tasado en 135 smmlv. Este estimado se considera el valor de referencia y evaluación para las etapas homologas de los modelos propuestos ISBU y Mampostería confinada.

## 6.1.2 Evaluación.

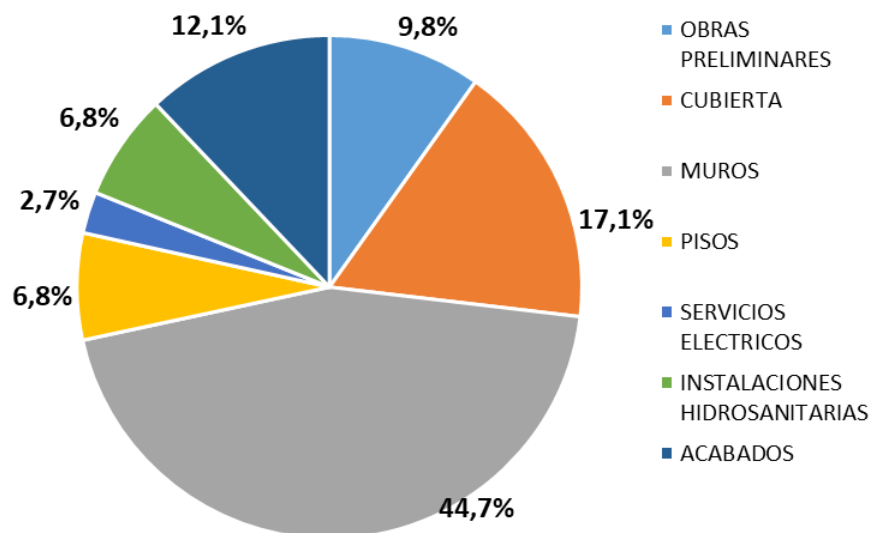
**6.1.2.1 Metodología tradicional.** El costo directo del modelo de vivienda propuesto de 75 m<sup>2</sup>, construido bajo sistema tradicional de mampostería confinada es de 61,6 smmlv (\$ 45.443.612). Este resultado se ajusta a los costos de construcción promedio del mercado.

**6.1.2.2 Metodología ISBU.** El costo directo del modelo de vivienda propuesto de 75 m<sup>2</sup>, construido bajo sistema ISBU es de 81,4 smmlv (\$ 60.101.703). En comparación al promedio del mercado inmobiliario, el costo de construcción es un 30,8% más elevado.

## 6.2 Impacto financiero de las Sub-etapas constructivas.

Se analiza la incidencia de cada etapa constructiva del proyecto dentro del costo total directo de la edificación, basado en los costos resultados del Análisis de Precios Unitarios para cada modalidad constructiva.

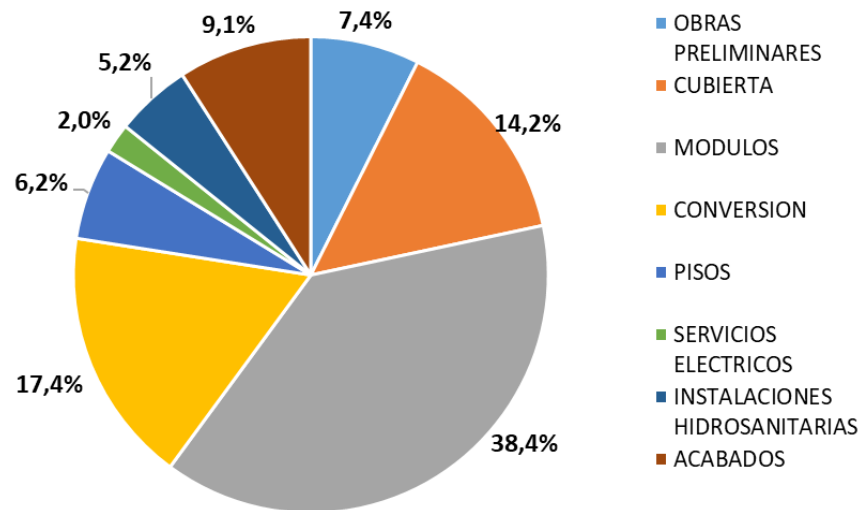
**6.2.1 Modelo tradicional.** La Figura 3 muestra la distribución correspondiente para el



*Figura 3.* Contribución al costo total- Método tradicional. *Nota:* Costos asociados al modelo de vivienda propuesto con el sistema de mampostería confinada.

método de construcción tradicional. El costo de construcción del modelo de vivienda propuesto con este sistema es de \$ 45.443.612. El costo de construcción por m<sup>2</sup> es de \$ 605.915.

**6.2.2 Modelo ISBU.** La Figura 4 muestra la distribución correspondiente para el método de construcción con Unidades de Acero Intermodal. El costo de construcción del modelo de vivienda propuesto con este sistema es de \$ 60.101.703. El costo de construcción por m<sup>2</sup> es de \$ 801.356.



*Figura 4.* Contribución al costo total- Método ISBU. *Nota:* Costos asociados al modelo de vivienda propuesto con el sistema ISBU.

**6.2.3 Análisis de costos por etapa constructiva.** El inciso anterior definió los porcentajes de impacto de cada una de las etapas constructivas correspondientes a las metodologías evaluadas. La Tabla 2 y Tabla 3 muestran los costos estimados por área general de trabajo para los sistemas de mampostería confinada e ISBU correspondientemente.

Algunas de las áreas, tales como obras preliminares, servicios eléctricos, instalaciones hidrosanitarias y acabados, no presentan variaciones en su costo. Esto se debe a que se

proyectaron bajo las mismas condiciones de desarrollo en su ejecución, teniendo en cuenta cantidad de materiales involucrados, mano de obra necesaria y equipo.

Por otra parte, áreas de trabajo como Cubierta y Pisos presentan variaciones mínimas que se asocian al empleo de material de diferente tipo (Pisos) y cantidad (Cubierta).

El área que presenta la variación más significativa es “Muros” del sistema tradicional en comparación al conjunto homologo “Módulos” y “Conversión” para el sistema ISBU, siendo el costo de este último un 11% más elevado. Este incremento se relaciona directamente con el valor del módulo; según la estimación, los contenedores necesarios para generar el espacio proyectado representan un 38,4% del costo directo del proyecto. Otras actividades asociadas son la instalación de capas termo acústicas exteriores e interiores que requieren la habilitación del módulo (láminas de PEAD, lana mineral, Drywall), junto con la maquinaria especializada que requiere la elevación y disposición final.

**Tabla 2.**

*Costos estimados por áreas de trabajo – Método tradicional*

Áreas generales	Subtotal
Obras preliminares	\$ 4.463.189
Cubierta	\$ 7.750.444
Muros	\$ 20.329.726
Pisos	\$ 3.112.869
Servicios eléctricos	\$ 1.211.199
Instalaciones hidrosanitarias	\$ 3.096.587
Acabados	\$ 5.479.598
<b>Costo directo</b>	<b>\$ 45.443.612</b>

*Nota:* Costos asociados al modelo de vivienda propuesto con el sistema de mampostería confinada.

**Tabla 3.***Costos estimados por áreas de trabajo – Método ISBU*

Áreas generales	Subtotal
Obras preliminares	\$ 4.463.189
Cubierta	\$ 8.557.108
Módulos	\$ 23.100.000
Conversión	\$ 10.438.076
Pisos	\$ 3.755.945
Servicios eléctricos	\$ 1.211.199
Instalaciones hidrosanitarias	\$ 3.096.587
Acabados	\$ 5.479.598
<b>Costo directo</b>	<b>\$ 60.101.703</b>

*Nota:* Costos asociados al modelo de vivienda propuesto con el sistema ISBU

### 6.3 Evaluación del Tiempo de ejecución

La secuencia y duración de actividades de desarrollo de la etapa constructiva de los modelos, se presenta en la Tabla 4 y Tabla 5 para las metodologías constructivas Tradicional e ISBU correspondientemente.

**Tabla 4.***Duración general del proyecto Método Tradicional*

EDT	Tarea	Duración
1.1	Obras preliminares y Cimentación	11,84 días
1.2	Arquitectura	36,67 días
1.3	Cubierta	38,86 días
1.4	Servicios	57,31 días
1.5	Acabados	17,6 días
<b>Duración total</b>		<b>66,36 días</b>

*Nota:* Duración de actividades asociadas al modelo de vivienda propuesto con sistema de mampostería confinada.

**Tabla 5.***Duración general del proyecto Método ISBU*

EDT	Tarea	Duración
1.1	Obras preliminares y Cimentación	12,71 días
1.2	Montaje de módulos	3,0 días
1.3	Conversión	19,74 días
1.4	Cubierta	4,25 días
1.5	Servicios	10,46 días
1.6	Acabados	12,9 días
<b>Duración total</b>		<b>40,55 días</b>

*Nota:* Duración de actividades asociadas al modelo de vivienda propuesto con sistema ISBU

El comienzo y fin de actividades se rige a semana laboral de 48 horas, esto es 8 horas/día de lunes a sábado; se omitieron días festivos.

El sistema constructivo de mampostería confinada tiene una duración total de 66,36 días. En comparación, el sistema constructivo ISBU finaliza sus actividades en 40,5 días, lo que representa una reducción de tiempo del 39%.

Bajo este resultado se comprueba la versatilidad del sistema constructivo con contenedores. Se destaca que, en condiciones reales, un proyecto de alta densidad que emplee contenedores como material principal de construcción, puede optimizar sus tiempos de desarrollo hasta una tercera parte.

La relación entre actividades resulta determinante en la extensión de tiempo para cada área, algunas de las actividades para el sistema Tradicional requieren etapas de desarrollo no consecutivas que se traduce en duraciones extensas; un ejemplo claro de este tipo de actividad es evidenciado en el Área Servicios/Red eléctrica que supone un entregable previo para realizar la

actividad Revoque y Friso. Estos lapsos son significativamente reducidos con el sistema ISBU, que comparte técnicas basadas en los sistemas prefabricados de alto rendimiento.

Otra causal de reducción de tiempo es el uso de materiales livianos y secos que se emplean en los Contenedores, el concreto por su parte requiere tiempos de curado, esto acompañado de las grandes cantidades empleadas implica mayores duraciones. En general, cualquier actividad que implica el uso de Cemento, necesita tiempos de curado para alcanzar sus máximas especificaciones de resistencia, ejemplo de esto: Hiladas de ladrillos consecutivas, espesores de mortero máximo.

El consumo de tiempo que implica levantar la totalidad de los muros proyectados en el sistema Tradicional es de 29,31 días incluyendo actividades de refuerzo estructural (columnas y encadenados) y acabados (Pañete y friso), por su parte el sistema ISBU requiere 14,94 días que incluyen montaje de módulos, Corte/Refuerzo, aislamiento termo acústico e instalación de paneles de yeso; una reducción del 50 % del tiempo.

#### **6.4 Evaluación del impacto ambiental de la vivienda ISBU**

La tabla 6 resume los puntajes estimados por categoría evaluada de acuerdo con el manual de créditos LEED v4 for Homes Design and Construction (U.S. Green Building Council, 2015b).

Se tuvo en cuenta las características de los materiales junto con la metodología constructiva que implica su uso, además de la evaluación de la solvencia de redes eléctricas e hidrosanitarias y aspectos arquitectónicos de habitabilidad, tales como ventilación e iluminación.

Es claro que la evaluación ambiental se realiza sobre prototipos propuestos que se ciñen a especificaciones comunes de localización, servicio y durabilidad, por lo que la calificación LEED para ambos sistemas es insuficiente.

**Tabla 6.**

*Puntajes estimados certificación LEED v4 for Homes para sistemas constructivos de Mampostería confinada (MC) e ISBU.*

Categoría	Puntaje		
	Max	ISBU	MC
Transporte y localización (LT)	15	9	9
Sitios Sostenibles (SS)	7	2,5	2,5
Eficiencia en agua (WE)	12	1	1
Energía y Atmosfera (EA)	38	9	8
Materiales y Recursos(MR)	10	7	0,5
Calidad ambiental interior (EQ)	16	5,5	4,5
Innovación (IN)	6	1	0
Prioridad Regional (RP)	4	4	4
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>39</b>	<b>28,5</b>

*Nota:* Análisis y evaluación de créditos para la certificación LEED.

Para obtener la certificación LEED se debe contar con al menos 40 puntos. Como se muestra en la Tabla 6 el sistema ISBU obtuvo un resultado cercano atribuido especialmente al uso del contenedor como material reciclado, por su parte la construcción con mampostería no resalta el uso eficiente de material por lo que el margen para alcanzar la certificación mínima es amplio.

La certificación LEED requiere establecer objetivos y criterios fundamentales para desarrollar un proyecto de construcción. Comprender las fases que fijen los alcances elementales, depende de la integración de participantes tales como, propietario del proyecto, arquitecto, ingeniero civil y mecánico, diseñador de iluminación, profesional ambiental, contratista entre otros. Obtener un enfoque multidisciplinario que coordine los esfuerzos individuales durante las etapas diseño previo, diseño, construcción y ocupación es esencial para cumplir con los requerimientos de la certificación.

## 7. Conclusiones

### 7.1 Conclusión financiera

Como solución de vivienda de interés social se plantearon modelos que se encuentran dentro del estándar del mercado, dando solvencia al espacio habitable, servicios, acabados y precio final.

Se evidencio que la vivienda de interés social unifamiliar construida con contenedores o Sistemas de construcción de acero intermodal (ISBU), tiene mayores costos que la metodología constructiva en mampostería confinada, uno de los sistemas más tradicionales de Colombia.

Según el impacto porcentual por grupo de gastos evaluados en el literal 6.1.1, al incluir los costos asociados a la adquisición de terreno, urbanismo y diseño, el valor del m<sup>2</sup> asciende a \$1.275.756, posicionándolo cerca del límite de precios por m<sup>2</sup> para la VIS, tal como se muestra en la Figura 5. Con esto el margen de costos indirectos se ve limitado y el de utilidades se reduce.

Siendo así, la solución ISBU unifamiliar de una sola planta no se puede implementar de manera rentable como vivienda subsidiada.

Por otra parte, el costo de este tipo de proyectos no deja de ser competitivo y el precio del m<sup>2</sup> está dentro de los márgenes de venta a nivel nacional para la vivienda no subsidiada, tal como se evidencia en el Índice de costos Revista Construdata Ed 184 (Construdata, 2017) y (Piñeres et al., 2015);

Uno de los aspectos más influyentes en la construcción con contenedores, es el tiempo de ejecución, reduciendo hasta un 39% el tiempo empleado en la construcción de una vivienda en mampostería. Esto puede representar ahorros significativos dentro de los costos indirectos del proyecto que claramente pueden sumarse a los márgenes de utilidad. Además, los materiales

empleados en este tipo de construcción son livianos y comparten características con los sistemas prefabricados; la reducción del tiempo se debe a la misma estructura del contenedor que permite su apilamiento inmediato una vez llegue al sitio y con ello tiempos de montaje reducidos a minutos.

Dado que el sistema de construcción ISBU reduce la secuencia de actividades lógicas, se facilita el control de tiempo, calendario, recursos necesarios y cantidades estimadas en cada hito del proyecto.

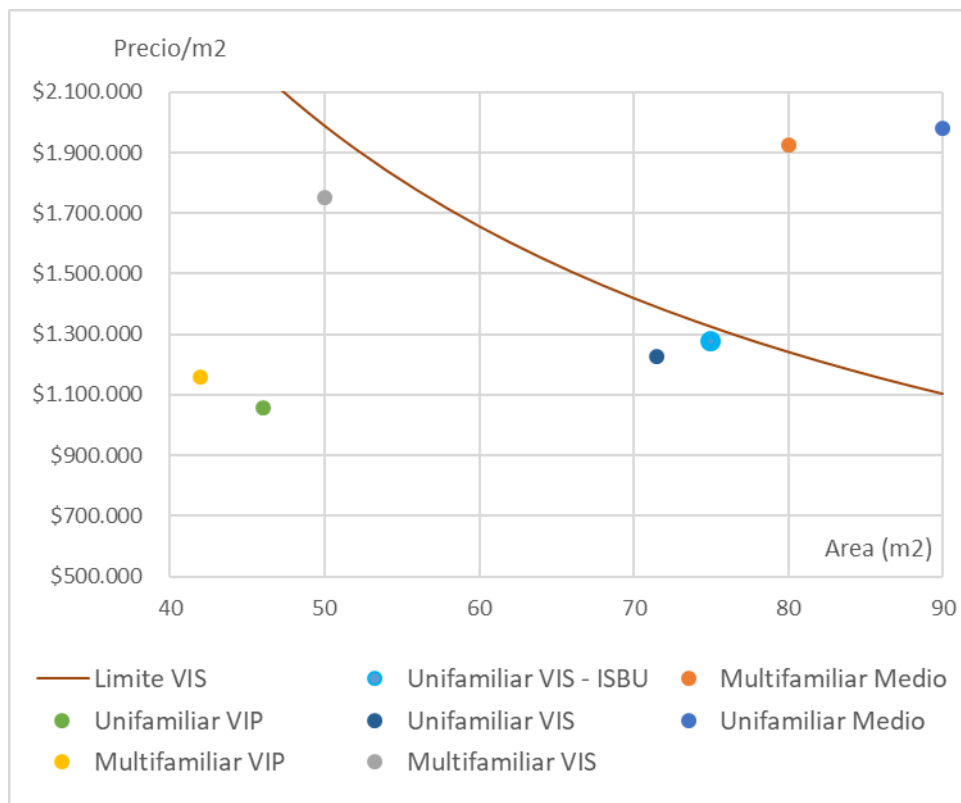


Figura 5. Precio por m2 vs Área ofertada. Nota 1. Índices de costos para la ciudad de Bogotá según Ed 184 Revista Construdata. 2. Estimación de costos para una VIS con sistema constructivo ISBU.

## **7.2 Conclusión Ambiental**

Bajo especificaciones de la certificación LEED, la construcción con contenedores obtuvo un mayor puntaje que Mampostería confinada. El margen presentado se atribuye al uso de material reciclado y otros aspectos menos influyentes como innovación y consumo de energía durante la construcción. Con esto es posible concluir que el uso de contenedor como material de construcción, agrega valor y representa un aporte en el uso de materiales sostenibles para la construcción.

Una de las características más impactantes de la construcción con ISBU es la reducción relativa de los residuos de construcción, teniendo un impacto ambiental menor al 20% frente a la construcción tradicional de mampostería. La disminución de escombros asociados también implica un menor costo en actividades de apoyo, como transporte y disposición final del residuo.

Por otra parte, es necesario aclarar que el uso del contenedor como único aporte a la construcción ambiental resulta ser insuficiente, y por sí mismo no puede solventar los requerimientos mínimos del LEED. Para esto se requiere la integración de las diferentes etapas de trabajo del proyecto de vivienda, en donde se contemple el uso de otros materiales de construcción sostenibles y de calidad, además de sistemas de iluminación y consumo de agua eficientes y ahorradores que complementen las soluciones pasivas del diseño arquitectónico.

## **7.3 Conclusión general**

Los resultados de la presente investigación demostraron que los costos directos asociados a la etapa constructiva de vivienda ISBU con una sola planta, son mayores en un 32% respecto al sistema de mampostería confinada. Si bien, los costos estimados son atribuidos únicamente a los gastos que tienen aplicación en el producto final, es importante resaltar el gran impacto en costos totales que trae consigo la reducción del tiempo de construcción.

Al economizar hasta una tercera parte del tiempo, los costos indirectos de operación y de obra, pueden ser sintetizados e influenciar de forma determinantes en la viabilidad general del proyecto.

A este último aspecto, se suman los beneficios de la disminución de residuos de construcción y el gasto que implica su manejo.

Por otra parte, la planificación de este tipo de proyectos bajo la integración y coordinación de las diferentes etapas del proceso constructivo y de diseño, permitiría superar fácilmente los puntajes requeridos por la certificación LEED para construcciones sostenibles. Aun así, según el número de créditos obtenidos en la valoración, el impacto ambiental de la construcción con contenedores es significativamente menor al sistema tradicional de mampostería confinada.

## **8. Recomendaciones**

Algunos temas futuros que pueden complementar esta investigación serían:

- ✓ Evaluación financiera y ambiental en proyectos multifamiliares de media altura subsidiado y no subsidiados, frente a otra metodología constructiva y la viabilidad de realizar proyectos a gran escala, teniendo en cuenta disponibilidad de contenedores en desuso y los costos de transporte desde los grandes puertos.
- ✓ Evaluación de la aceptación social como componente de la sostenibilidad de proyectos de vivienda construida con ISBU, aplicado a soluciones unifamiliares o multifamiliares, teniendo en cuenta aspectos visuales, especificaciones técnicas y arquitectónicas.

- ✓ Optimizar el uso de materiales y de tiempo en diferentes modelos de vivienda ISBU que cuenten con procedimientos de control y de calidad, junto con la evaluación correspondiente de estos aspectos.
- ✓ Estudiar la viabilidad financiera de construir viviendas ISBU bajo parámetros del LEED, incluyendo sistemas de consumo eficiente de energía y agua, e integrando soluciones pasivas de iluminación y ventilación

### Referencias Bibliográficas

Arboleda, J. (2008). *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín, Colombia.

Barón, P. C. (s. f.). AC : Arquitectura de Contenedores (pp. 71–74).

Botes, A. W. (2013). *A Feasibility Study of Utilising Shipping Containers To Address the Housing Backlog in South Africa*. (Tesis de Maestría), Stellenbosch University.

Bris, P., Nuere, S., Bendito, F., & Saint-Supery, M. (2010). Construcción de viviendas mediante contenedores de obra, (1), 10.

CCCS. (s. f.). Programa LEED® en Colombia. Recuperado a partir de <https://www.cccs.org.co/wp/capacitacion/talleres-de-preparacion-lead/>

Construdata. (2013a). Informe especial Mano de obra. *Revista construdata Ed 166*, 87.

Construdata. (2013b, julio). Los materiales de construcción: ciclo de vida, aplicaciones e impacto en el país. Recuperado a partir de [http://www.construdata.com/Bc/Otros/Archivos/como\\_se\\_construye\\_en\\_colombia.asp?Id\\_Tarea=\\_IDTAREA\\_&Email=%7B%7BEMAIL%7D%7D](http://www.construdata.com/Bc/Otros/Archivos/como_se_construye_en_colombia.asp?Id_Tarea=_IDTAREA_&Email=%7B%7BEMAIL%7D%7D)

Construdata. (2017). Índice de costos. *Revista Construdata Ed 184*.

DANE. (2016). Boletín técnico Vivienda VIS y No VIS. *III Trimestre de 2017*, 1–39.

Departamento de Estudios Económicos y Técnicos CAMACOL. (2017). Tendencias de la construcción Economía y Coyuntura Sectorial. *Novena Edición*, 48.

Departamento tecnico PGIRS Bucaramanga. (2016). *Plan de gestión integral de residuos solidos*.

Diaz Reyes, C. A., & Ramirez Luna, J. A. (2011a). Calidad en la Vivienda de Interés Social. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1*, 68.

Diaz Reyes, C. A., & Ramirez Luna, J. A. (2011b). Las normas aplicables para el desarrollo de vivienda de interes social. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 3*, 46.

Diaz Reyes, C. A., & Ramirez Luna, J. A. (2011c). Los materiales en la construcción de vivienda de interés social. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2*, 44.

Grandett, Y. (2017, agosto). Oferta de vivienda no alcanza para cubrir déficit. Recuperado a partir de <http://www.portafolio.co/mis-finanzas/vivienda/oferta-de-vivienda-en-colombia-no-cubre-deficit-508552>

Infante Páez, J. D. (2014). *Elemento de unión para contenedores de carga maritimos*. (Tesis de

Maestria), Universitat Politècnica de Catalunya.

Lopes, G. T., Loiola Tonin, I., & Sampaio, A. V. (2016). Arquitectura de Container : Reutilização para Contrução Civil. En *Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção* (pp. 5326–5336). São Paulo.

Martinez Santiago, S. Estudio de adaptación de la Anonymus-II Eco- House como módulo para residencia universitaria en La Zapateira (2016).

Merchán Maya, M. J. (2013). *Vivienda ecológica, móvil y modular enfocada a la empresa Petroamazonas dentro del campo petrolero bloque 15 en Shushufindi*. (Tesis de Pregrado), Universidad de las Américas.

Milanković, D., Milanović, B., Agarski, B., Ilić, M., & Crnobrnja, B. (2013). Life cycle assessment of an intermodal steel building unit Ocena trajnostnega cikla intermodulne jeklene gradbene enote. *RMZ – M&G*, 60(February), 67–72.

Ministerio de Vivienda. (2014). *Especificaciones técnicas, vivienda y obras de urbanismo*.

Recuperado a partir de

<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/141127> ANEXO

TECNICO PVG 2.pdf

Ministerio de Vivienda. (2018). Portal Minvivienda ABC Mi Casa Ya. Recuperado a partir de

<http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-vivienda/programas/mi->

casa-ya/abc-mi-casa-ya

MinVivienda. Decreto 1285 (2015). Colombia.

Molina Maragaño, C. I. (2014). *Innovación en el diseño de viviendas modulares mediante el uso de containers*. (Tesis de Pregrado), Universidad Austral de Chile.

Moore, C. M., Yildirim, S. G., & Baur, S. W. (2015). Educational Adaptation of Cargo Container Design Features, *ASEE Zone*, 10.

Piñeres, D., Guzman, W., Medrano, C., Rincón, E., & Veracachá, W. (2015). Análisis de los costos directos de una vivienda de interés social en Bogotá y su influencia en el déficit habitacional. En *Engenieros Militares - Investigacion en Ingenieria Militar y Civil* (pp. 71–79).

Pulgar Mancebo, F. P., Álvarez Gil, A., & Ventura Blanch, F. (2013). E Container. reciclaje efectivo: arquitectura y contenedores. *Greencities & Sostenibilidad: Inteligencia aplicada a la sostenibilidad urbana*, 11.

Robinson, A., & Swindells, T. (2012). Customized Container Architecture. *ACSA Fall Conference*, 64–69.

Salazar, S. (1969). *Costos y tiempo en edificaciones*. (Limusa, Ed.) (3<sup>a</sup> ed.). Mexico.

Sanchez de la Cruz, D. E. (2011). Las tres restricciones tradicionales y las posibles alteraciones de los proyectos. Recuperado 1 de enero de 2018, a partir de <http://www.sparh.com.mx/noticias/costo-tiempo-alcance.html>

Smith, J. D. (2006). *Shipping Containers as Building Components*. (Thesis de Pregrado), University of Brighton.

U.S. Green Building Council. (2013). *Reference Guide for Homes Design and Construction* (2013<sup>a</sup> ed.). Washington DC.

U.S. Green Building Council. (2015a). Leadership in Energy & Environmental Design. Recuperado 15 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.usgbc.org/leed>

U.S. Green Building Council. (2015b). *LEED v4 for Homes Design and Construction*. Washington DC 20037.