

Evaluación y propuesta de diseño de una vivienda tipo vis como solución para la reubicación de asentamientos urbanos incorporando criterios de confort, eficiencia energética y sostenibilidad

Jorge Daniel González Lizcano, Iván José Villarreal Archila

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Wilfredo Del Toro

Msc. Ingeniero Civil.

Co-director

Yubely Andrea García Forero

Estudiante Maestría Ingeniera Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

Gracias a mis padres que me infundieron el valor del trabajo duro, a mis hermanos que me apoyaron y asistieron en todo lo necesario, a mis amigos que estuvieron ahí siempre, a mi compañero de proyecto porque las risas nunca faltaron, y a todos los que hicieron posible este proyecto.

JORGE DANIEL GONZÁLEZ LIZCANO

En homenaje a quienes se atreven a perseguir sus metas sin desfallecer, gracias a quienes participaron y nos apoyaron en esta investigación, principalmente a mi compañero y a nuestros directores, mi familia y mi pareja, por brindarme siempre un apoyo y promover en mí la importancia de servir a la sociedad.

IVÁN JOSÉ VILLARREAL ARCHILA

Tabla de Contenido

Introducción	14
1. Marco de referencia	16
1.1. Déficit habitacional	16
1.1.1. Vivienda de interés social (VIS):	17
1.1.2. Vivienda de interés prioritario (VIP):	18
1.1.3. Problemas de la vivienda VIS y VIP	18
1.2. Sostenibilidad en viviendas.....	19
1.2.1. Principios de la sostenibilidad	20
1.3. Criterios de diseño sostenible	21
1.3.1. Eficiencia Energética	21
1.3.2. Confort Térmico.....	21
2. Metodología	22
2.1. Caracterización del caso de estudio	22
2.2. Criterios sostenibles	26
2.2.1. Arquitectura	26

2.2.2. Materiales.....	29
2.2.3. Sistema Estructural	31
2.2.4. Sistema hidrosanitario.....	32
2.3. Modelos.....	34
2.4. Demanda energética.....	35
2.5. Costo de las viviendas.....	36
2.5.1. Etapa constructiva	36
2.5.2. Operación y mantenimiento.....	36
2.5.3. Demolición.....	37
2.6. Factibilidad Económica, Ambiental y Social.....	37
2.6.1. Factibilidad Económica:	38
2.6.2. Factibilidad Ambiental:	38
2.6.3. Factibilidad Social	39
3. Resultados	39
3.1. Diseños.....	39
3.1.1. Arquitectura	39
3.1.2. Sistema Estructural	40
3.1.3. Sistema hidrosanitario.....	41

3.2. Modelos.....	42
3.3. Demanda energética.....	43
3.4. Costo de las viviendas.....	44
3.4.1. Construcción	44
3.4.2. Operación y mantenimiento.....	47
3.4.3. Demolición.....	49
3.5. Factibilidad del proyecto.....	50
3.5.1. Factibilidad Económica	50
3.5.2. Factibilidad Ambiental.....	51
3.5.3. Factibilidad social	52
4. Conclusiones	53
5. Recomendaciones	55
Referencias.....	56

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Arquitectura tipo 1: Proyecto VIS en La Victoria Boyacá.	26
<i>Figura 2.</i> Arquitectura tipo 2: Proyecto VIS Rural. Adaptado Banco Agrario de Colombia.....	27
<i>Figura 3.</i> Arquitectura tipo 3: Proyecto VIS Buriticá, Antioquía. Adaptado de SECOP II.....	27
<i>Figura 4.</i> Arquitectura 4: Proyecto VIS "Monteverdi" en Girón, Santander. Adaptado de Constructora Inacar	28
<i>Figura 5.</i> Arquitectura tipo 5: VIS sostenible en La Pintada, Antioquía. Adaptado de Proyecto de vivienda de interés social VISS	28
<i>Figura 6.</i> Diagrama descriptivo con alternativas de reúso propuestas. Adaptado de “Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga. Colombia”.....	32
<i>Figura 7.</i> Alternativas a analizar de viviendas de interés social con sus variables	34
<i>Figura 8.</i> Cuadro de propiedades térmicas ingresadas en Autodesk Revit	35
<i>Figura 9.</i> Diseño arquitectónico final.	40
<i>Figura 10.</i> Diseño estructural en pórtico para VISS_1.....	41
<i>Figura 11.</i> Diseño estructural en muro BTC reforzado para VISS_2.	41
<i>Figura 12.</i> Diseño hidrosanitario y de reúso de agua.	42
<i>Figura 13.</i> Render de vista exterior de los modelos hechos en Autodesk Revit	42

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resumen planos arquitectónicos evaluados.....	29
Tabla 2. Densidad y conductividad térmica de los materiales sostenibles a emplear.....	31
Tabla 3. Resultado del análisis energético total para cada modelo (Autodesk Insight)	43
Tabla 4. Resultado de ahorro de energía empleada en iluminación para cada modelo (eQUES). 44	
Tabla 5. Resumen de presupuesto del modelo VISS_1	44
Tabla 6. Resumen de presupuesto del modelo VISS_2	45
Tabla 7. Resumen de presupuesto del modelo VIS_T	46
Tabla 8. Resumen de costo operacional y ahorros por modelo de vivienda.....	48
Tabla 9. Resumen de costos de mantenimientos en modelos de vivienda.....	48
Tabla 10. Resumen de costos de demolición en los modelos VIS.....	49
Tabla 11. Costo total modelos VIS	50
Tabla 12. Valor presente neto total para cada modelo.....	51
Tabla 13. VPN y TIR flujo económico del sistema hidrosanitario.....	51

Lista de Apéndices

(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

- Apéndice A. Diseño del sistema hidrosanitario
- Apéndice B. Presupuesto detallado Sistema Hidrosanitario
- Apéndice C. Memorias de cálculo evaluación de cargas
- Apéndice D. Presupuesto detallado VIS Tradicional
- Apéndice E. Presupuesto detallado VISS 1
- Apéndice F. Presupuesto detallado VISS 2
- Apéndice G. Presupuesto detallado demolición VISS T
- Apéndice H. Presupuesto detallado demolición VISS 1
- Apéndice I. Presupuesto detallado demolición VISS 2
- Apéndice J. Gasto de mantenimiento detallado
- Apéndice K. Ahorro por energía eléctrica
- Apéndice L. Ahorro por reúso de aguas
- Apéndice M. Proyección económica de cada modelo
- Apéndice N. Proyección económica sistema hidrosanitario
- Apéndice O. Diseños estructurales
- Apéndice P. Diseños hidrosanitarios

Resumen

TITULO: EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA VIVIENDA TIPO VIS COMO SOLUCIÓN PARA LA REUBICACIÓN DE ASENTAMIENTOS URBANOS INCORPORANDO CRITERIOS DE CONFORT, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD. *

AUTORES: JORGE DANIEL GONZÁLEZ LIZCANO
IVÁN JOSÉ VILLARREAL ARCHILA**

PALABRAS CLAVE: CONFORT, EFICIENCIA ENERGÉTICA, SOSTENIBILIDAD, VIVENDA DE INTERÉS SOCIAL

DESCRIPCIÓN:

En Colombia, la migración interna, en búsqueda de mejores condiciones en su calidad de vida, provoca que la población urbana aumente dejando como resultado 36% de déficit habitacional del total nacional, que se divide en 12% de viviendas no aptas para ser habitadas y 24% de viviendas con hacinamiento mitigable y no mitigable, obligando a la población flotante a asentarse en las periferias de la ciudad donde autoconstruyen viviendas de baja calidad, deficiencias estructurales e informales. Por su parte el sector de la construcción genera un consumo intenso y desmedido de materiales de fuentes no renovables y energía, representando el 40% de las emisiones globales de CO₂. Este trabajo presenta el diseño y evaluación de una vivienda de interés social digna, tomando como base de estudio el asentamiento Nueva Colombia de Piedecuesta, mediante diseños arquitectónico, estructural e hidrosanitario que involucra criterios sociales, ambientales y económicos de sostenibilidad, estudiando su comportamiento económico a lo largo del ciclo de vida, construcción, operación y demolición. Se encontró que el diseño planteado en este estudio genera ahorros en la etapa constructiva y operacional, dando así hasta el 22% de ahorro en el consumo de energía y agua comparado con una vivienda tipo VIS tradicional.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo Deltoro Rodríguez. Co-directora: Yubely Andrea García Forero

Abstract

TITLE: EVALUATION AND PROPOSAL OF VIS DWELLING DESIGN AS SOLUTION FOR URBAN SETTLEMENTS RELOCATION INCORPORATING COMFORT, ENERGY, EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY STANDARDS.

AUTHORS: JORGE DANIEL GONZÁLEZ LIZCANO

IVÁN JOSÉ VILLARREAL ARCHILA

KEY WORDS: COMFORT, ENERGY EFFICIENCY, SOCIAL INTEREST DWELLING, SUSTAINABILITY

DESCRIPTION:

in Colombia, Internal migration, looking for better conditions in life quality, promotes the urban population increasing, allowing a 36% housing deficit of national total, that is divided in 12% in not suitable dwellings for living and 24% of dwellings with overcrowding mitigable and not mitigable, forcing the settlement of floating population in cities peripheries where they build low quality, structural deficiency and informal dwellings. The construction sector generates an intense and excessive materials from no removable sources and energy consumption, representing the 40% of CO₂ global emissions. This paper presents the design and evaluation of a VIS model of worthy dwelling, taking as study baseline Nueva Colombia settlements in Piedecuesta, through architectural, structural and hidrosanitary designs that involves social, environmental and economical standard, studying its behavior throughout the life cycle, construction, operation and demolition. The design presented in this work generates savings in constructive and operational phases, giving savings of 22% in operational consumption compared with a VIS dwelling traditional.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Wilfredo Deltoro Rodríguez. Co-director: Yubely Andrea García Forero

Introducción

La vivienda de interés social surge como una solución al déficit habitacional causado por el crecimiento exponencial de la población y, la migración hacia las ciudades en búsquedas de mejores oportunidades. Es así como en las urbes se gestan invasiones o asentamientos informales que carecen del mínimo confort para el hombre; las entidades gubernamentales con el afán de garantizar una vida digna proponen viviendas asequibles a este segmento por medio de programas como “Mi casa ya”, que busca incrementar la cantidad y no calidad de las viviendas, lo cual no es una solución 100% efectiva. Es necesario responder a las necesidades de la población sin desfavorecer a las generaciones futuras, para ello se deben abordar los problemas bajo el concepto de desarrollo sostenible analizando criterios en el ámbito social, económico y ambiental.

El proyecto pretende estudiar las viviendas de interés social (VIS) basados en criterios de sostenibilidad contenidos en el decreto 00454 de 2015, el confort térmico, eficiencia energética y viabilidad económica; para posteriormente, como resultado, proponer un nuevo modelo de VIS, la vivienda de interés social sostenible (VISS) que busca cumplir con estos objetivos y los criterios previamente expuestos con el ánimo de brindar una ayuda a quienes carecen de vivienda digna y viven en condiciones precarias, asentamientos urbanos.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Proponer y evaluar una solución de vivienda tipo VIS para la reubicación del asentamiento urbano Nueva Colombia en el municipio de Piedecuesta, Santander involucrando criterios de confort, eficiencia energética y sostenibilidad.

1.2. Objetivos específicos

Proponer diseños de ingeniería tipo para la vivienda (Estructural e hidrosanitario) involucrando los criterios de sostenibilidad (sociales, económicos y ambientales) definidos por la ley colombiana en la resolución 0549 de 2015 y la guía para la construcción sostenible.

Determinar la demanda energética de los diseños propuestos mediante la construcción de un modelo que permita analizar el uso de materiales como medida pasiva de confort térmico, y comparar los resultados con la demanda energética de un diseño tradicional.

Analizar económicamente, a lo largo del ciclo de vida (Construcción, operación y demolición), la vivienda propuesta con relación a una vivienda con diseño tradicional.

2. Marco de referencia

2.1. Déficit habitacional

Se entiende como déficit habitacional a la insuficiencia de viviendas adecuadas y vulnerabilidad del hábitat (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016).

- Déficit cuantitativo: Se refiere a los hogares que residen en viviendas con hacinamiento no mitigable. En Colombia esta cifra es del 12,37% de los hogares colombianos y en el departamento de Santander cerca de 60,000 hogares que representa el 12%.
- Déficit cualitativo: Son los hogares que habitan en viviendas susceptibles a ser mejoradas, ya que presentan deficiencias con lo referente a la estructura, hacinamiento mitigable. En Colombia los hogares con este déficit son el 23,84% (Builes, Céspedes, León, & Jiménez, 2012) y en el departamento de Santander cerca de 102,000 hogares que representa el 21% (DANE, 2010).

La ley 1537 de 2012 tiene como objeto señalar las competencias, responsabilidades y funciones de las entidades del orden nacional y territorial, y la confluencia del sector privado en el desarrollo de los proyectos de vivienda de interés social y proyectos de vivienda de interés prioritario destinados a las familias de menores recursos, la promoción del desarrollo territorial, así como

incentivar el sistema especializado de financiación de vivienda (Ministerio de Vivienda de Colombia, 2012).

El plan de desarrollo nacional (2014-2018) contempla entre sus objetivos Impulsar la planificación, actuación coherente y articulada de los sectores de vivienda, agua potable y saneamiento básico, bajo el concepto de “Ciudades Amables y Sostenibles para la Equidad” en complemento con las acciones estratégicas de movilidad urbana. Para lo cual establece como meta reducir el déficit habitacional cuantitativo urbano asociado al índice de pobreza multidimensional (IPM) a través del acceso a una vivienda digna donde se logra que los hogares más vulnerables superen las privaciones relacionadas con condiciones de habitabilidad y por ende salir de su condición de pobreza (Manuel et al., 2014).

2.2. Vivienda de interés social (VIS).

En Colombia las viviendas de interés social son consideradas desde la implementación de la ley 388 de 1997 en el artículo 91 como aquellas viviendas que se desarrollan para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos. La vivienda de interés social, según el artículo 83 de la ley 1151 de 2007, debe reunir elementos que aseguren su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción. El valor máximo de una vivienda de interés social en Colombia de acuerdo con la anterior ley es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM) (Garavito, 2009).

El concepto de vivienda de interés social debe cumplir con los postulados de una vivienda digna (“Portal Minvivienda Vivienda de interés social,” 2009). Se considera una vivienda digna si se asegura la disponibilidad de los servicios, materiales, instalaciones e infraestructura. Es digna si su costo no pone en peligro o dificulta el disfrute de otros derechos humanos por sus ocupantes. Debe garantizar la seguridad física, la protección contra el frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otros riesgos para la salud y peligros estructurales. La vivienda es adecuada si se toma en consideración las necesidades específicas de los grupos desfavorecidos y marginados (GLEDHILL, 2010).

2.3. Vivienda de interés prioritario (VIP).

Según la ley 1151 de 2007, la VIP es una vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales vigentes (70 SMLM). Se destinan para las poblaciones que necesitan con urgencia un hábitat seguro.

2.4. Problemas de la vivienda VIS y VIP.

Colombia no cuenta con una política integral de vivienda social que abarque aspectos como la calidad de la vivienda, la incorporación tecnológica, aspectos de seguridad y confort (Vaca, 2015). Según el decreto 2060 de 2004, la Personería de Bogotá, determinó que las viviendas de interés social no cumplen con los estándares mínimos de calidad exigidos por la ley.

Factores como el diseño, los materiales, el emplazamiento y los sistemas constructivos utilizados no son estudiados y mucho menos asumidos dentro de un contexto ambiental que permita obtener altos niveles de calidad de vida, afectando el confort térmico de sus habitantes.

Debido a la gran demanda que tienen las viviendas de interés social, los constructores se volcaron hacia la realización de este tipo de proyectos, proponiendo al gobierno viviendas que solo buscar el lucro monetario, olvidándose por completo de la dignidad social (Revista DINERO, 2001).

2.5. Sostenibilidad en viviendas

Una construcción sostenible es aquella que está en sincronía con el sitio, hace uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente y provee confort y salud a sus usuarios. Todo esto es alcanzado gracias a un proceso de diseño consciente del clima y la ecología del entorno donde se construye la edificación (Ministerio de Vivienda de Colombia, 2013).

A partir del 2015, 193 líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible (Hermes & Rimanoczy, 2018). Uno de estos objetivos es desarrollar ciudades y comunidades sostenibles cuya primera meta es asegurar el acceso a todas las personas a viviendas sostenibles (Naciones Unidas, 2015).

La implementación de sistemas sostenibles genera contundentes beneficios al bajar en promedio, 30% de ahorro de energía, 35% de carbono, entre 30 y 50% de agua y entre 50% y 90%

de costos de desechos, esto sin contar la mejora en la salud y la productividad de los quienes los habitan (Susunaga, 2014).

2.5.1. Principios de la sostenibilidad. El desarrollo y crecimiento desmesurado que ha venido presentando cada una de nuestras ciudades y municipios hacen que enfoquemos nuestra mirada a la optimización de los recursos naturales como lo son el agua, la tierra y el aire, garantizando una mejor calidad de vida de cada una de las generaciones actuales así como para las futuras, es decir satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2017).

Para que una construcción se considere sostenible debe cumplir con tres aspectos fundamentales que son en los que se cimienta el concepto de sostenibilidad:

- **Ecológico:** Se refiere a la capacidad de preservación de los recursos naturales fomentando una responsabilidad consciente sobre lo ecológico y, al mismo tiempo, crecer en el desarrollo humano cuidando el ambiente donde vive (Camacho, 2012).
- **Social:** La sostenibilidad debe garantizar mantener niveles armónicos y satisfactorios a la población, un buen nivel de vida, y promover que se involucren estas mismas personas para crear algo nuevo en la sociedad de la que forman parte.
- **Económico:** La construcción sostenible implica modelos financieros innovadores que estén de acuerdo a las capacidades económicas de la población (Susunaga, 2014).

2.6. Criterios de diseño sostenible

Para elaborar una vivienda y que sea catalogada como sostenible se debe tener en cuenta:

2.6.1. Eficiencia Energética. El concepto de eficiencia energética concierne a la relación técnica entre la cantidad de energía consumida al principio o la que se consume al final y la cantidad máxima de servicios energéticos disponibles (Calefacción, iluminación, enfriamiento, movilidad, entre otros). En una definición más clara, se refiere a la adopción de tecnologías específicas que reducen, en general, el consumo de energía sin cambios relevantes en el comportamiento de los consumidores (Oikonomou, Becchis, Steg, & Russolillo, 2009).

Para lograr eficiencia energética existen medidas pasivas las cuales no involucran mayor consumo energético; por ejemplo, la implementación de techos verdes en el diseño de una vivienda contribuye a la regulación de la temperatura del aire en los espacios internos de edificación (Niachou, Papakonstantinou, Santamouris, Tsangrassoulis, & Mihalakakou, 2001).

2.6.2. Confort Térmico. El confort es una condición mental que expresa satisfacción con el medio térmico y es definido por una evaluación subjetiva.

Debido a las variaciones fisiológicas que hay de una persona a otra, es difícil satisfacer a todos en un espacio. Las condiciones ambientales requeridas para garantizar el confort no son las mismas para todos. Sin embargo, existe vasta información adquirida de laboratorio y campo que provee los datos estadísticos necesarios para definir las condiciones que un porcentaje específico de

ocupantes encontrará confortable térmicamente. Hay seis factores primarios que deben de dirigidos cuando se definen las condiciones para el confort térmico (Ansi/Ashrae, 2004): Tasa metabólica; Aislamiento de ropa; Temperatura del aire; Temperatura radiante; Velocidad del aire; Humedad.

3. Metodología

El proyecto se dividió en 4 etapas, necesidades caso de estudio, diseño basado en los criterios sostenibles, modelamiento y realización de presupuestos y comparación económica entre viviendas de interés social (VIS) y viviendas de interés social sostenible (VISS).

3.1. Caracterización del caso de estudio

Para identificar las necesidades básicas del caso de estudio, se realizó una revisión de literatura donde se incluyen artículos científicos, encuestas, proyectos de grado y guías técnicas de diferentes entidades para determinar qué información social es importante para lograr un diseño de vivienda incluyente. La revisión se representa en el siguiente listado de (78) tópicos que tuvieron en cuenta en los estudios analizados. De este listado se seleccionaron (19) tópicos por su redundancia y

afinidad con el caso de estudio. Las características físicas, sociales y económicas que se tomaron en cuenta se enuncian a continuación:

- I. **Cantidad de personas:** La cantidad de personas, especificando su sexo y edad, que hay en el lugar de estudio es importante para la elaboración del diseño de la vivienda, para así saber la distribución en planta que debe tener y el diseño meticuloso para quienes van a habitar la vivienda.
- II. **N° hijos por hogar:** Es necesario tener esta información para encontrar una arquitectura acorde al promedio de hijos por hogar.
- III. **N° habitantes por hogar:** Corresponde al número promedio de habitantes por hogar para determinar el espacio necesario para una estadía en la vivienda confortable.
- IV. **Economía de los hogares:** Capacidad de pago de los hogares para asumir la construcción de una vivienda de tipo sostenible.
- V. **Tipo de población:** Se debe definir de donde viene la población, de qué ciudad, para así determinar un parámetro fijo regional en la elaboración de la vivienda.
- VI. **Actividades de ocio y recreación que el individuo realiza:** Las actividades que la comunidad realiza como ocio o recreación es importante saberlas para estudiar qué posibles espacios deben tener las viviendas que podrían ocupar, en caso de que las actividades se hagan en el hogar, o en caso que necesiten guardar los elementos necesarios para realizar tales actividades.

- VII. **Ocupación de los habitantes:** Si son estudiantes, trabajadores, pensionados, músicos etcétera. Es necesario saber en qué se ocupa la comunidad para así establecer espacios en la vivienda, de acuerdo a sus necesidades de ocupación.
- VIII. **Actividad económica:** Saber en cómo se ganan la vida es importante para diseñar una vivienda que brinde confort después de su jornada laboral.
- IX. **Tenencia de la tierra:** Esto para saber que probabilidad hay de construir la vivienda que en este proyecto se pretende plantear
- X. **Ubicación de las viviendas:** Conocer el riesgo que presentan las viviendas por inundación, deslizamiento y otros riesgos, para así saber la ubicación más segura de la vivienda en el sector donde habita la comunidad.
- XI. **Área de los predios:** Saber cuál es el área promedio construida de los predios para así realizar un diseño óptimo acorde al área que se podría usar para construir la vivienda.
- XII. **Uso de los predios:** Para distribuir de los espacios dentro de la edificación se debe saber cuál es el uso que la comunidad le da a los predios para hacerlo conforme a las necesidades requeridas por sus habitantes.
- XIII. **Material predominante de la edificación:** Con esto se pretende ver con que materiales están constituidas las viviendas de la comunidad en la actualidad y así mirar la magnitud de mejora en la calidad de vida de las personas que podría traer la elaboración de una vivienda de interés social sostenible que se pretende hacer en este proyecto.

XIV. **Escasez del espacio (Distribución de espacios):** Al igual que el capítulo anterior, con ésta información se quiere conocer el posible cambio en el nivel de confortabilidad que podrían tener los hogares con el diseño de la vivienda que se quiere plantear.

XV. Fuente, consumo y porcentaje de viviendas con energía eléctrica y consumo

XVI. Fuente, consumo y porcentaje con acueducto y consumo

XVII. Fuente, consumo y porcentaje de viviendas con gas

Con la información que se adquiriera de los capítulos 15,16 y 17 se hará la proyección de los gastos operacionales de la vivienda y así analizar el posible ahorro que se dará con los diseños de la vivienda sostenible.

XVIII. **Equipamiento doméstico (Sanitario, lavadero, baño, cocina, ventilación, iluminación natural, iluminación artificial, dotación de agua al interior):** Saber qué clase de equipos se encuentran dentro de la vivienda es necesario para conocer el impacto térmico que podrían tener para la confortabilidad de los habitantes y también para saber qué consumo de electricidad, agua o gas podría tener.

XIX. **Iluminación:** En la elaboración del diseño arquitectónico se debe buscar que en el día no sea necesario encender ninguna luz artificial, para esto es necesario conocer si en las viviendas de la comunidad en estudio requieren luz eléctrica en las viviendas durante el día.

3.2. Criterios sostenibles

Para lograr el diseño de una VIS sostenible se tuvieron en cuenta aspectos fundamentales como la arquitectura, los materiales a emplear en ella, el sistema estructural que se usaría y el diseño de la red hidráulica.

3.2.1. Arquitectura. Se realizó una revisión bibliográfica de diferentes estudios que proponían una configuración arquitectónica óptima para viviendas de interés social y también, por medio del Sistema Electrónico de Contratación Pública (SECOP II), se revisaron 2 contratos de ejecución de proyectos en viviendas de interés social en Colombia, 2 propuestas arquitectónicas del mercado y el estudio propuesto en un proyecto de post-grado (Zapata, 2013). Las configuraciones arquitectónicas que se encontraron más aptas para la región de estudio se muestran a continuación:

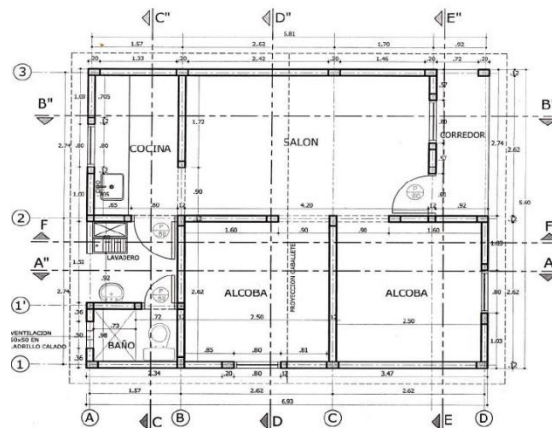


Figura 1. Arquitectura tipo 1: Proyecto VIS en La Victoria Boyacá. Adaptado de SECOP II

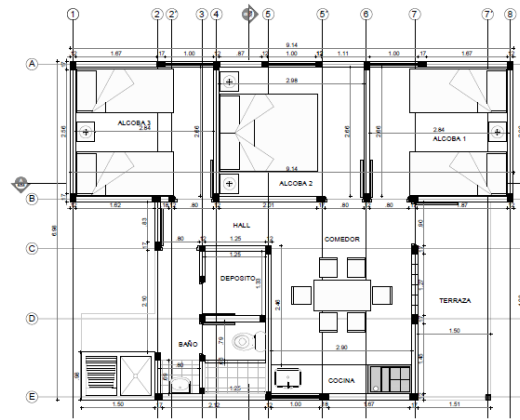


Figura 2. Arquitectura tipo 2: Proyecto VIS Rural. Adaptado Banco Agrario de Colombia

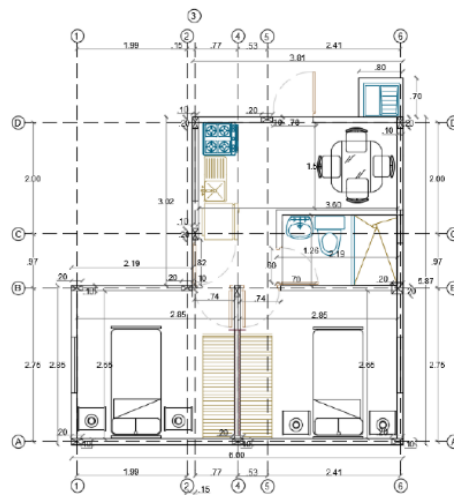


Figura 3. Arquitectura tipo 3: Proyecto VIS Buriticá, Antioquía. Adaptado de SECOP II



Figura 4. Arquitectura 4: Proyecto VIS "Monteverdi" en Girón, Santander. Adaptado de Constructora Inacar



Figura 5. Arquitectura tipo 5: VIS sostenible en La Pintada, Antioquía. Adaptado (Zapata, 2013)

Después de la revisión de las propuestas arquitectónicas se optó por emplear el plano de la *Figura 5* por su diseño sostenible al considerar aspectos de arquitectura bioclimática, aerodinámica y el aprovechamiento, durante el día, de la luz natural, teniendo en cuenta el número de habitantes en el hogar, que el promedio de personas que habitan una casa en el lugar de estudio, el barrio Nueva Colombia en Piedecuesta, es de 4 personas, y los oficios que desarrollen en la vivienda.

Tabla 1.

Resumen planos arquitectónicos evaluados.

Arquitectura					
Criterio	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Número Habitantes	3.00	3.00	6.00	3.00	4.00
Número Habitaciones	2.00	2.00	3.00	2.00	3.00
Área [m2]	40.00	40.00	60.00	50.00	95.00

3.2.2. Materiales. La construcción sustentable debe contemplar aspectos de disponibilidad, estética y accesibilidad, respondiendo inicialmente a las condiciones de existencia y producción local (Minvivienda, 2013). El uso de materiales y tecnologías que tengan la menor cantidad de CO₂ en el entero ciclo de vida, considerando las diferentes etapas: extracción de materias primas, transporte, procesos productivos, uso, reutilización, reciclaje y disposición final, satisface el concepto de sostenibilidad (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2017).

En el desarrollo de la investigación se estudiaron los materiales empleados en la construcción de viviendas de interés social (Guimarães, 2008) y se clasificaron de la siguiente manera:

Huella de carbono alta (Muñoz V., Morales O., Letelier G., & Mendívil G., 2016)

- Ladrillos de arcilla cocida que requieren de un proceso de gasto energético bastante amplio y dejan a su paso una huella de carbono preocupante.
- Cemento
- Acero
- Tejas de fibrocemento
- Teja en C-VPC

Huella de carbono baja (DONDI, MARSIGLI, & FABBRI, 1997)(Hall & Allinson, 2009)(Allinson & Hall, 2010)(Zhang, Wong, Arulrajah, & Horpibulsuk, 2018)

- Tierra
- Materiales residuales usados en la elaboración de los mampuestos
- Materiales de desperdicio municipal (vidrio, plástico)
- Teja en fibra vegetal
-

Al revisar los materiales anteriores, se identificaron ventajas en la confortabilidad térmica, su proceso de producción, buscando el que menos energía necesite para su elaboración, y su disponibilidad en el mercado. Para el desarrollo se determinaron los materiales más óptimos para la vivienda: la tierra, para los muros y la teja en fibra vegetal para la cubierta.

Tabla 2.

Densidad y conductividad térmica de los materiales sostenibles a emplear

Material	Densidad [Kg/m³]	Conductividad térmica [K (W/mK)]
Tierra	1.900	1,65
Teja en fibra vegetal	855	0,25

3.2.3. Sistema Estructural. La seguridad en las viviendas ante la amenaza de un evento natural es un aspecto fundamental para que una vivienda sea catalogada como digna y sostenible (Miembros de la asamblea general de las Naciones, 1948). La norma sismo resistente colombiana (NSR-10) (COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, 1997; Comisión Asesora Permanente para el régimen de construcciones sismoresistentes, 2010; ICONTEC, 1997) plantea 3 sistemas estructurales aplicables a viviendas de 1 o 2 pisos: pórtico resistente a momentos, muros de mampostería confinada y muros en mampostería reforzada. Considerando los materiales requeridos en los diseños y la posibilidad de disminuir la huella de carbono, se descartó el uso del sistema de mampostería confinada.

El diseño con pórticos resistentes a momentos se desarrolló bajo los criterios de los títulos A y C de la NSR-10. Teniendo en cuenta la ubicación del caso de estudio, se definieron los parámetros para una zona de alta sismicidad y un uso tipo I, edificios destinados para vivienda. Se empleó el método de análisis de la fuerza horizontal equivalente (FHE) para el chequeo derivas, verificando que cumplieran con las permitidas por la norma.

El diseño de muros en mampostería reforzada se desarrolló bajo los criterios del título D de la NSR-10 y la norma técnica colombiana (NTC) 5324 (ICONTEC, 2005), que establece las propiedades de los ladrillos suelo cemento que sustituyen los ladrillos macizos de arcilla. El cálculo de derivas se realizó en el software SAP2000, determinando así, que cumpliera con lo establecido en el título D de la NSR-10. Se usó lo recomendado para muros parcialmente reforzados, para obtener así un sistema con capacidad moderada de disipación, y obtener costos más bajos, pero asegurando la estabilidad de la estructura.

3.2.4. Sistema hidrosanitario. Para el diseño del sistema hidrosanitario y de reutilización de aguas, se siguió lo recomendado por (Rivera & Zaraza, 2015) en donde establecen diferentes alternativas de reúso de aguas que se exponen en la Figura 6:

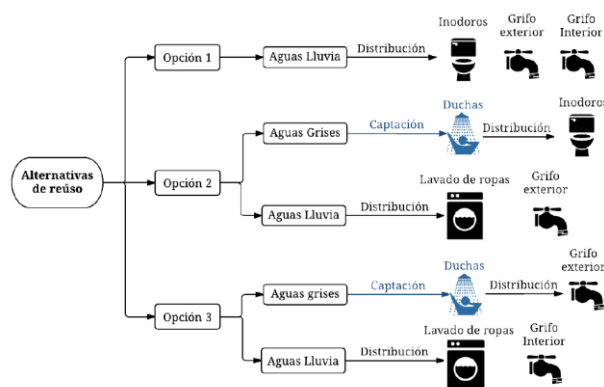


Figura 6. Diagrama descriptivo con alternativas de reúso propuestas. Adaptado de “Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga. Colombia” (Rivera & Zaraza, 2015).

En el estudio (Rivera & Zaraza, 2015) se concluye que la mejor alternativa de reúso es la opción 2, siendo esta la más factible económicamente y más óptima en aprovechamiento de aguas residuales, es por esto que el diseño en la VISS se hace para esta opción.

En el diseño de la red doméstica se contempla el diseño de la red de agua potable, red sanitaria, de aguas lluvia y la red de recuperación de aguas grises, además del cálculo de los sistemas de bombeo. Para el cálculo de todo lo que implica una red hidrosanitaria como lo son diámetros, velocidad, pérdidas y presión en la tubería a utilizar, se siguió lo expuesto por *Carmona* en su libro “*Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas para Instalaciones*” (Perez, 2010) el cual se basa en el método Horton de unidades y se siguieron también las recomendaciones de la norma técnica colombiana NTC 1500 (NTC1500, 2004). Para el dimensionamiento de tanques de almacenamiento se siguió lo sugerido por (Rivera & Zaraza, 2015).

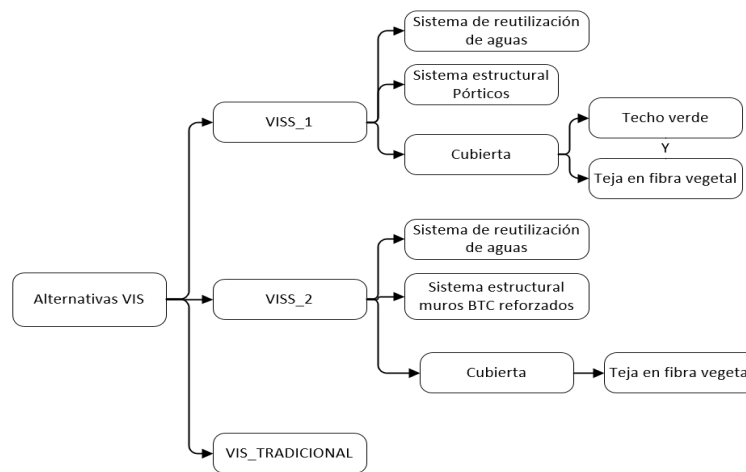


Figura 7. Alternativas a analizar de viviendas de interés social con sus variables

3.3. Modelos

Teniendo en cuenta los criterios y las variaciones presentadas en la sección anterior se definieron 3 modelos con el fin de estudiar las distintas variaciones en costo y eficiencia energética que presentan las viviendas si se alteran sus materiales.

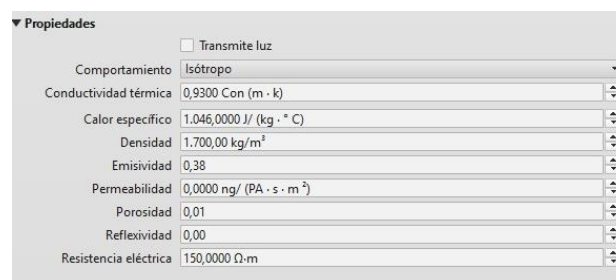
- VISS 1 modelo sostenible con sistema estructural a porticado con muros de encerramiento en tapia pisada y cubierta en parte con techo verde y otra de fibra vegetal;
- VISS 2 modelo sostenible con sistema estructural de mampostería reforzada en bloque de tierra comprimida (BTC) y cubierta en fibra vegetal
- VIST modelo tradicional de mampostería confinada con ladrillo generado a partir de los planos suministrados por la caja de compensación familiar Comfenalco. Este proyecto se desarrolló

en el municipio de Málaga, Santander. Tiene un área de 51 metros cuadrados, dos plantas y está diseñada para una familia de 4 integrantes.

3.4. Demanda energética

Para el cálculo de la demanda energética se utilizó Insight que es una extensión del software Autodesk Revit y el software Equest, los cuales determinan la demanda energética de una edificación basado en la ubicación de la vivienda, la configuración arquitectónica, los materiales que la componen y las horas de servicio que tendrá la edificación, el software calcula cuánta energía eléctrica en KWh requiere la vivienda para iluminación y para mantener una temperatura constante. En este estudio se determinó que la temperatura de confort debe ser de 22° C.

Se ingresaron los datos térmicos, Figura 8, asociados a muros en tierra pisada, bloque de tierra comprimida, ladrillo suelo cemento y de cada uno de los materiales que componen la arquitectura de las diferentes alternativas de VIS expuestas en 3.3.



▼ Propiedades	
	☐ Transmite luz
Comportamiento	Isótropo
Conductividad térmica	0,9300 W/m·K
Calor específico	1,046,0000 J/(kg·°C)
Densidad	1,700,00 kg/m³
Emisividad	0,38
Permeabilidad	0,0000 mD
Porosidad	0,01
Reflexividad	0,00
Resistencia eléctrica	150,0000 Ω·m

Figura 8. Cuadro de propiedades térmicas ingresadas en Autodesk Revit

3.5. Costo de las viviendas

Con el fin de conocer el valor final de las viviendas a lo largo de su construcción, operación y finalmente su demolición, se analizó para cada una de las etapas del ciclo de vida.

3.5.1. Etapa constructiva. Para la estimación del costo de la construcción de la vivienda se realizó un presupuesto detallado para cada modelo por medio de un análisis de precios unitarios (APU's) obtenidos por la base de datos de ConstruData (<http://www.construdata.com/>) y la base de datos Colombia generador de precios (<http://www.colombia.generadordeprecios.info/>) y a partir del cálculo de cantidades de los diseños realizados (Arquitectónico, Estructural y de redes). Para cada modelo se definió un AIU de acuerdo a la metodología sugerida por Rojas y Bohórquez (López, 2010).

El presupuesto del modelo 3, el tradicional, suministrado por Comfenalco data del mes de junio del año 2015, por lo cual se proyectó su valor al mes de mayo de 2019, usando el Índice de costos de la construcción de vivienda (ICCV) suministrado por el DANE, en la serie de empalme 1990-2019.

$$Factor_{equivalencia} = \frac{ICCV_{futuro}}{ICCV_{pasado}} = \frac{244,24}{212,54} = 1,15$$

Por lo que su valor de costo directo actual fue el resultado de amplificar 1,15 veces el valor del año 2015.

3.5.2. Operación y mantenimiento

Operación: Los elementos que se seleccionaron para evaluar el costo de operación de la vivienda, fueron:

- Costo de suministro de agua
- Costo de alcantarillado
- Costo de energía eléctrica

Mantenimiento: Se estimaron los valores, la frecuencia y el costo por año total de mantenimiento de los siguientes sistemas:

- Sistema de reutilización de agua
- Muros
- Cubiertas

Las anteriores son los elementos a variar en el diseño de los 3 modelos de vivienda. Para el caso de los equipos eléctricos del sistema de reutilización de aguas, se dividió su costo de compra en su vida útil para determinar su devaluación.

3.5.3. Demolición. A partir del presupuesto generado en la sección 3.5.1, se definieron las actividades de demolición y desmontaje de los diferentes componentes de las viviendas. Estos precios también se obtuvieron de las bases de datos ya mencionadas.

3.6. Factibilidad Económica, Ambiental y Social

3.6.1. Factibilidad Económica. Para evaluar resultados económicos del proyecto en cada modelo de vivienda se usó el un método de Valor Presente Neto, que permite transformar los costos a través del tiempo (Camacho, 2012).

$$VPN = \frac{Valor\ Futuro}{(1 + \%interés)^{\#Años}}$$

Y se usó también la Tasa Interna de Retorno (TIR) el cual mide y compara la rentabilidad de las inversiones (González, Sánchez, & Muñoz, 2017)

Para esto se hizo un flujo de caja, en donde se determinaron ingresos, egresos e inversión inicial (costo total de la construcción de la vivienda). Los ingresos se establecieron como el ahorro en el pago de acueducto y alcantarillado, de acuerdo al diseño de reutilización de aguas, y por concepto de la arquitectura bioclimática, el cual permite un porcentaje considerable de ahorro en iluminación, al no ser necesario emplear energía eléctrica durante el día. Los egresos fueron el coste del mantenimiento de los elementos expuestos en 2.5.2.

El flujo de caja se proyectó a 50 años de acuerdo a las normas internacionales en la evaluación de vida de proyectos ambientales (ICONTEC, 2007). Para la proyección se estableció una inflación del 3.81% de acuerdo a la variación de índices del consumidor (IPC) de los últimos 10 años en Colombia.

3.6.2. Factibilidad Ambiental. Se estudió desde los materiales que se van a emplear para construir, garantizando que son renovables, en donde su proceso de elaboración requiera de la menor energía posible, hasta el impacto ambiental que producirían estos al momento de convertirse en desechos, los cuales se especifican en 3.2.2

Se consideró también el ahorro que provoca los diseños sostenibles de arquitectura y de la red hidrosanitaria, promoviendo el ahorro en energía eléctrica y agua.

3.6.3. Factibilidad Social. La factibilidad social se determinó a partir de estos indicadores (Barcelona, n.d.):

- Emergencia: Nivel de urgencia que tenga el proyecto
- Número de beneficiarios directos: Beneficio genérico, no para unos cuantos.
- Soluciones: Solución a un objetivo concreto, que al menos cubra la necesidad para la que ha sido ejecutado.
- Sostenibilidad: El proyecto debe medirse tanto en sus posibilidades previas como en la manera en que se va a sostener.

4. Resultados

4.1. Diseños

4.1.1. Arquitectura. Para lograr un diseño arquitectónico adecuado a las necesidades del caso de estudio se realizó una disminución del 28% en el área de la vivienda presentada en la figura 5, teniendo en cuenta que el área de las viviendas de interés social urbano no debe exceder los 65

metros cuadrados. La arquitectura tipo empleada en el proyecto contó con la asesoría y opinión de un experto en la construcción de vivienda de interés social, profesional de la caja de compensación familiar Comfenalco; dando como resultado final el diseño representado en la Figura 9 que cuenta con una configuración bioclimática y da un uso óptimo de los espacios.

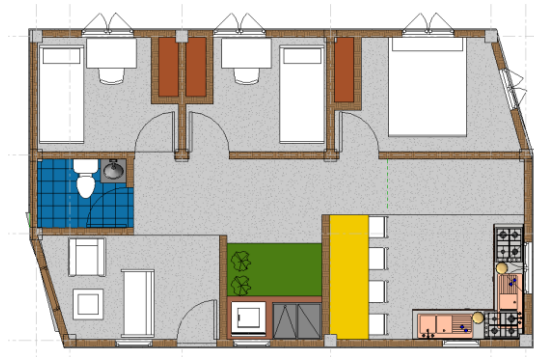


Figura 9. Diseño arquitectónico final.

4.1.2. Sistema Estructural. El diseño del sistema estructural tipo pórticos se emplea con el fin de dar soporte a la carga de $1.6 \text{ [kN/ m}^2\text{]}$ distribuida en el área destinada a techo verde de $35 \text{ [m}^2\text{]}$. Las memorias de cálculo se pueden revisar en el Anexo C, y los planos de despiece de columnas, vigas y losas en el Anexo O

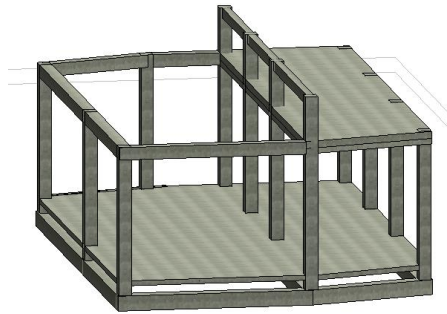


Figura 10. Diseño estructural en pórtico para VISS_1.

El diseño del sistema para el modelo “VISS_2” en bloques de tierra comprimido reforzado con acero (mampostería reforzada) se realizó de tal manera que cumpliera con los requisitos mínimos expuestos en el título D de la NSR-10, en lo que destaca el cumplimiento de la deriva máxima, que en este caso debe ser del 5% o menos. Las memorias de cálculo, el diseño de los muros y los planos estructurales se pueden revisar en el Anexo O

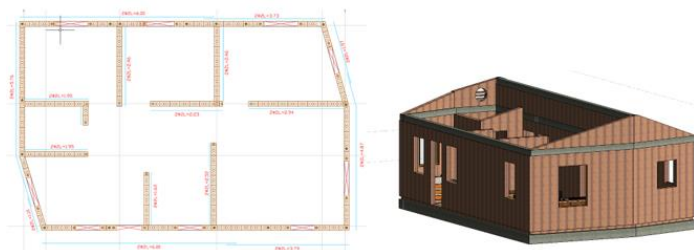


Figura 11. Diseño estructural en muro BTC reforzado para VISS_2.

4.1.3. Sistema hidrosanitario. El diseño y trazado de las redes hidráulicas, sanitarias y de reutilización de aguas se realiza de acuerdo a lo expuesto en 3.2.4.

En las memorias de cálculo se encuentran las especificaciones de diámetros, velocidad, pérdidas y presión (Anexo A) y los planos de diseño (Anexo P)

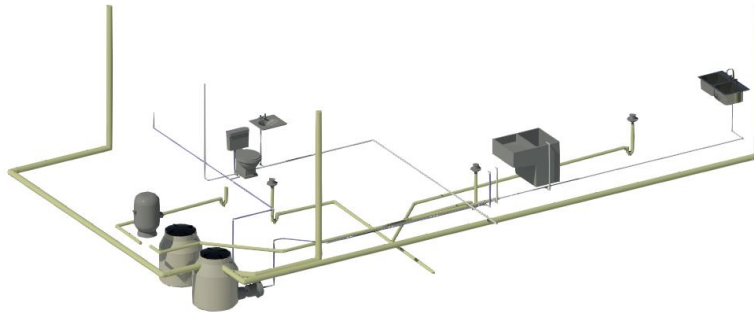


Figura 12. Diseño hidrosanitario y de reúso de agua.

4.2. Modelos



Figura 13. Render de vista exterior de los modelos hechos en Autodesk Revit

4.3. Demanda energética

Al ingresar todas las variables que requería el modelo se obtuvo como resultado la energía eléctrica, medida en kilowatt hora por metro cuadrado (kW-h/m²), que requiere cada modelo para operar en un año.

Tabla 3.

Resultado del análisis energético total para cada modelo (Autodesk Insight).

Ítem	VISS_1	VISS_2	VIS_T
Área [m ²]	65	65	51
Consumo [kWh/m ² /año]	49.9	41.8	369
Variación respecto VIS_T	86.48%	88.67%	0.00%

Se destaca que el diseño arquitectónico bioclimático, construido con materiales alternativos, utilizado en los modelos sostenibles tiene gran influencia en la evaluación energética optimizando más del 80% de energía respecto a la vivienda tradicional. Hay que considerar que en este software también se considera la energía necesaria para un sistema de aire acondicionado para mantener una temperatura confort constante. En el análisis de un software eQUEST, se obtienen resultados que permiten evaluar específicamente el ahorro en energía eléctrica para iluminación. En la tabla 3 se expresan en porcentaje los valores de ahorro para cada modelo estudiado.

Tabla 4.

Resultado de ahorro de energía empleada en iluminación para cada modelo (eQUEST).

	VISS_1	VISS_2	VIS_T
Ahorro	49.10%	48.65%	0.00%

Aunque ya no se evidencian resultados tan escandalosos como en la tabla 2, el ahorro debido a la arquitectura, en iluminación con energía eléctrica, es considerable siendo esta casi del 50% para los dos modelos VISS.

4.4. Costo de las viviendas

El costo de los modelos de viviendas, se determinó a partir de la construcción, operación, mantenimiento y demolición.

4.4.1. Construcción. A continuación, se muestra en tablas cada uno de los presupuestos, en forma de resumen, de los modelos de las viviendas propuestas:

Tabla 5.

Resumen de presupuesto del modelo VISS_1

Ítem	Actividad	Valor Total
1	Actividades preliminares	\$ 170,885
2	Movimiento de tierras	\$ 857,274

Ítem	Actividad	Valor Total
3	Estructura	\$ 26,282,525
4	Mampostería y pañetes	\$ 2,649,578
5	Pisos y enchapes	\$ 305,894
6	Cubierta	\$ 6,401,013
7	Aparatos sanitarios	\$ 368,600
8	Redes eléctricas y de comunicaciones	\$ 3,233,420
9	Carpintería metálica	\$ 2,370,381
10	Carpintería en madera	\$ 925,559
11	Red de gas	\$ 860,967
12	Red hidrosanitaria y de recuperación de aguas	\$ 3,620,491
13	Griferías	\$ 402,400
Costos directos		\$ 48,523,986
	Administración (12%)	\$ 5,822,878
	Imprevisto (5%)	\$ 2,426,199
	Utilidad (6.5%)	\$ 3,154,059
Total obra		\$ 59,927,123

Tabla 6.
Resumen de presupuesto del modelo VISS_2

Ítem	Actividad	Valor Total
1	Actividades preliminares	\$ 170,885
2	Movimiento de tierras	\$ 857,274
3	Estructura	\$ 33,238,666

Ítem	Actividad	Valor Total
4	Pisos y enchapes	\$ 305,894
5	Cubierta	\$ 1,560,000
6	Aparatos sanitarios	\$ 368,600
7	Redes eléctricas y de comunicaciones	\$ 3,233,420
8	Carpintería metálica	\$ 2,370,381
9	Carpintería en madera	\$ 925,559
10	Red de gas	\$ 860,967
11	Red hidrosanitaria y de recuperación de aguas	\$ 3,620,491
12	Griferías	\$ 402,400
COSTOS DIRECTOS		\$ 47,914,537
ADMINISTRACIÓN (12%)		\$ 5,749,744
IMPREVISTO (5%)		\$ 2,395,727
UTILIDAD (6.5%)		\$ 3,114,445
TOTAL OBRA		\$ 59,174,453

Tabla 7.

Resumen de presupuesto del modelo VIS_T

Ítem	Actividad	Valor Total
1	Actividades preliminares	\$ 147,645
2	Movimiento de tierras	\$ 2,175,675
3	Estructura	\$ 20,257,094
4	Mampostería y pañetes	\$ 2,741,064
5	Estucos y pinturas	\$ 1,654,345
6	Pisos y enchapes	\$ 2,290,439
7	Cubiertas y cielorrasos	\$ 3,451,505
8	Aparatos sanitarios	\$ 1,144,590
9	Redes eléctricas y de comunicaciones	\$ 2,811,670
10	Carpintería metálica	\$ 2,563,190
11	Carpintería en madera	\$ 1,420,565
13	Redes hidrosanitarias	\$ 3,266,583
14	Griferías	\$ 867,223
15	Estructuras estancas	\$ 1,602,353
16	Decoración y ornato	\$ 60,000
17	Aseo	\$ 75,000

Ítem	Actividad	Valor Total
	Total obra (Año 2015)	\$ 54,592,224
	Facto de equivalencia ICCV	1,15
	Total obra (Año 2019)	\$ 62,781,058

Para el costo de construcción de las viviendas, se mantuvieron, en la mayor medida posible, los capítulos de los presupuestos para así, poder hacer una comparación más justa.

4.4.2. Operación y mantenimiento

Operación: Utilizando el consumo energético y el consumo de agua y alcantarillado por modelo de vivienda, se evalúan los costos operacionales y el ahorro debido a la implementación de diseños sostenibles. Se hace el cálculo con las tarifas para una vivienda estrato 1 en la ciudad de Piedecuesta: 1,281 [COP/m³] para acueducto (Piedecuestana de Servicios públicos, 2019), 437 [COP/m³] para alcantarillado (Piedecuestana de Servicios públicos, 2019), 221.64 [COP/kWh] energía (Electrificadora de Santander, 2019). Los resultados resumidos se encuentran en la tabla 7.

El consumo total anual de agua se obtuvo del estudio de Citylab (Metropolitano, 2016), el cual establece un consumo mensual de 10 metros cúbicos de agua por vivienda. Y el consumo de energía eléctrica se obtuvo del consumo promedio en viviendas de estrato 1, el cual establece es de 110 kWh/mes (CODENSA, 2019).

Tabla 8.

Resumen de costo operacional y ahorros por modelo de vivienda.

Modelos	VIS_T	VISS_1	VISS_2
Acueducto			
Consumo total[m3/Año]	123.13	59.93	58.68
Costo total/Año COP	\$ 157,754	\$ 76,785	\$ 75,185
Ahorro-Ganancia/Año COP	\$ -	\$ 80,969	\$ 82,569
Alcantarillado			
Consumo total[m3/Año]	155.41	66.19	62.37
Costo total/Año COP	\$ 67,910	\$ 28,921	\$ 27,255
Ahorro-Ganancia/Año COP	\$ -	\$ 38,989	\$ 40,654
Eléctrico			
Consumo total[kWh/año]	1320.00	1233.46	1234.31
Costo total/Año COP	\$ 292,565	\$273,383	\$ 273,573
Ahorro-Ganancia/Año COP	\$ -	\$ 19,182	\$ 18,992
Ahorro total [COP/Año]	\$ -	\$139,140	\$ 142,216

Mantenimiento: El mantenimiento requerido para cada vivienda tipo por concepto de cubierta, muros y sistema de reúso de agua (Excepto para el modelo de VIS tradicional) se exponen a modo de resumen en la tabla 8.

Tabla 9.

Resumen de costos de mantenimientos en modelos de vivienda

	VISS_1	VISS_2	VIS_T
Cubierta	\$ 8,000	\$ 2,000	\$ 2,000
Muros	\$ 77,430	\$ 77,430	\$ 94,991

	VISS_1	VISS_2	VIS_T
Sistema de reúso de agua	\$ 104,625	\$ 104,625	\$ -
Costo total/año	\$ 190,055	\$ 184,055	\$ 96,991

4.4.3. Demolición. La demolición se determinó a partir de las actividades y cantidades generadas en el presupuesto para la construcción de las viviendas. Es importante resaltar que en el presupuesto de demolición no se tomó en cuenta el valor de transporte de los escombros producto de la demolición para su disposición final, solo se presupuestó con el valor de la mano de obra y las herramientas necesarias para ejecutar la demolición.

Tabla 10.

Resumen de costos de demolición en los modelos VIS

	VISS_1	VISS_2	VIS_T
Costo total	\$ 4,582,851	\$ 3,603,947	\$ 4,700,690

El capítulo que mayor valor da a la demolición es la estructura. De la tabla 9 se puede concluir que el modelo VIS con menor costo de demolición se la VISS_2, cuyo sistema estructural es el de muros en BTC reforzado.

En la

Tabla 11 se resume el costo total de las viviendas, teniendo en cuenta costo de construcción, operación y mantenimiento y demolición. Como resultado se obtiene que el modelo con menor costo en su ciclo de vida es el de VISS_2.

Tabla 11.

Costo total modelos VIS

Costos	VISS_1	VISS_2	VIS_T
Construcción	\$59,927,123	\$59,174,453	\$62,544,614
Operación	\$10,370,140	\$10,052,609	\$23,301,210
Demolición	\$ 4,582,851	\$ 3,603,947	\$ 4,700,690
Total	\$74,880,114	\$72,831,009	\$90,546,515

4.5. Factibilidad del proyecto

La factibilidad del proyecto se evaluó económica, ambiental y socialmente.

4.5.1. Factibilidad Económica. La implementación del proyecto no generaría nunca un flujo neto positivo en ninguno de los modelos VISS, debido a que el costo de mantenimiento es mayor que el ahorro que se da debido a los diseños sostenibles de la edificación. Sin embargo, el VPN negativo para los modelos sostenibles resulta ser, aproximadamente, el 50% del valor presente neto del modelo tradicional, lo que señala que sigue siendo más factible construir una vivienda de interés social implementando criterios sostenibles.

Tabla 12.

Valor presente neto total para cada modelo

	VISS_1	VISS_2	VIS_T
VPN	-\$ 10,370,140	-\$ 10,052,609	-\$ 23,301,210

La tasa interna de retorno (TIR) no se pudo calcular debido que el flujo neto no resultó positivo por las razones expuestas con anterioridad.

Se evaluó el comportamiento económico del sistema hidrosanitario y reúso de aguas, a lo largo del tiempo de operación de la vivienda dando como resultado un tiempo de retorno del costo total del sistema a los 13 años para los dos modelos de vivienda de interés social sostenible.

Tabla 13.

VPN y TIR flujo económico del sistema hidrosanitario

	VISS_1	VISS_2
VPN	\$ 4,427,488	\$ 4,499,992
TIR	9.60%	9.71%

Se evidencia mayor ganancia en el modelo VISS_2 respecto al modelo VISS_1.

4.5.2. Factibilidad Ambiental. Los modelos propuestos se diseñaron con materiales que requieren de procesos de bajo empleo de energía para su producción, como es el caso de la tierra para la construcción de los muros y de la cubierta en fibra vegetal. Materiales que, a la hora de

convertirse en escombros, no generan un gran impacto ambiental desintegrándose en armonía con la naturaleza. El concreto y el acero son materiales que son indispensables para garantizar la estabilidad estructural y así ofrecer seguridad para quien habita la vivienda.

Se comprobó el ahorro que ocasiona el diseño de la red de reúso de agua, de aproximadamente el 55%, no generando residuos contaminados de agua, sino reutilizándola, y con esto disminuir el impacto ambiental en los ríos.

Respecto a la implementación de la arquitectura bioclimática, se logró reducir el consumo de energía eléctrica, y así disminuir costos económicos y ambientales.

4.5.3. Factibilidad social. La cantidad de viviendas en condición de precariedad en el barrio Nueva Colombia, en el municipio de Piedecuesta, es cerca del 40% (Metropolitano, 2016) lo que se traduce en la necesidad urgente de un proyecto que permita la vivienda digna y segura, con asequibilidad total para toda la comunidad, sin discriminación; pero además que se presente como un proyecto sostenible, que aporte valor al poseedor de la vivienda y al medio ambiente. Este proyecto involucra directamente a la comunidad en su fase constructiva, en los procesos de elaboración del material para los muros. El diseño sismo resistentes de los modelos de viviendas genera confianza en la habitabilidad segura. Es por esto que los modelos de vivienda de interés social sostenibles evaluados y diseñados en este proyecto se presentan como una opción viable y factible para la población de Nueva Colombia.

5. Conclusiones

Este trabajo considera criterios sostenibles, técnicos y económicos, para evaluar y analizar el diseño propuesto de una Vivienda de Interés Social Sostenible como solución para la reubicación de asentamientos urbanos, donde se concluye que:

De los modelos propuestos de Vivienda de Interés Sostenible (VISS_1 y VISS_2) se acoge el modelo VISS_2 debido a sus bajos costos constructivos, operacionales y de demolición respecto a los otros modelos presentados en este artículo. También resalta, en consecuencia, por su configuración arquitectónica, el ahorro por motivo de iluminación (6.5%) y ahorro debido al diseño de reúso de aguas (52.3%).

El diseño hidrosanitario y de reúso de aguas, se puede implementar en una Vivienda de Interés social, ya que, su costo no altera en mayor proporción el costo total de la vivienda, en cambio, si ocasiona ahorros, para los diseños de este estudio, de hasta el 52% en el consumo de agua suministrada por el acueducto, y de aproximadamente el 60% por concepto de alcantarillado, generando así, un beneficio de gran escala para quien hace uso de estos recursos, y para la protección de los mismos.

El uso de materiales alternativos, implementados en el diseño de una arquitectura bioclimática, para la construcción de las viviendas, influye positivamente en el costo operacional de la vivienda, hablando de energía eléctrica, reduciendo hasta un 50% el consumo por motivo de iluminación.

No es posible recuperar la inversión de la construcción de los modelos propuestos con los diseños, tecnologías y métodos propuestos. Empero, se evidencia, beneficios económicos, sociales y ambientales más amplios en los diseños sostenibles que en el tradicional.

La implementación de los diseños de Viviendas de Interés Social Sostenible propuestos en este estudio, se orientan a ser una solución para la reubicación de asentamientos urbanos, específicamente, en el barrio Nueva Colombia, por su factibilidad económica, ambiental y social.

Evaluar energéticamente es una herramienta rápida y efectiva para estimar costos de consumo eléctrico en la etapa de operación de una edificación.

6. Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados y las conclusiones de esta investigación considera que:

La construcción de viviendas de interés social sostenible, debe contemplar el estudio de una vivienda y a su vez enfocarse en proponer sistemas comunitarios que beneficien y promuevan el desarrollo sostenible, tales como sistemas de abastecimiento de agua comunitario que permitan la reutilización de aguas lluvia y grises; sistemas de obtención de energía como paneles solares o biodigestores que aprovechan los recursos del entorno.

De la misma forma podrían plantearse sistemas estructurales de mampostería reforzada en ladrillos suelo cemento.

Avanzar en el estudio de materiales que cuenten con una huella de carbono baja, que sean seguros, estables y duraderos.

Referencias Bibliográficas

- Allinson, D., & Hall, M. (2010). Hygrothermal analysis of a stabilised rammed earth test building in the UK. *Energy and Buildings*, 42(6), 845–852.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.005>
- Ansi/Ashrae. (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Ashrae*, 2004, 30. <https://doi.org/10.1007/s11926-011-0203-9>
- Banco Interamericano de Desarrollo, B. (2016). Déficit habitacional. Retrieved October 25, 2018, from <https://blogs.iadb.org/ciudadessostenibles/2016/11/25/problema-de-vivienda/>
- Barcelona, U. de. (n.d.). Elementos para determinar la viabilidad de un proyecto social. Retrieved from <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/proyectos-sociales/elementos-para-determinar-la-viabilidad-de-un-proyecto-social>
- Builes, D. E., Céspedes, J. D., León, M. C., & Jiménez, W. G. (2012). Déficit Cualitativo de la Vivienda en Colombia, una Reflexión desde el Hábitat Residencial Urbano. Estudio de caso: Municipios La Dorada y Norcasia, Caldas, Colombia. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, Separata X(February 2013), 1–14. Retrieved from <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5913/4776>
- Camacho, M. (2012). El Trilema Energético. *Cuadernos de Energía*, (38), 28.
<https://doi.org/ISSN:1698-3009>
- CODENSA. (2019). CONSUMO PROMEDIO DE HOGARES EN COLOMBIA. Retrieved from

<https://www.codensa.com.co/hogar/factura-codensa>

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Concreto estructural. , Titulo C Nsr-10 § (1997).

Comisión Asesora Permanente para el régimen de construcciones sismoresistentes. Título D (NSR10) - Mampostería. , 1 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial § (2010).

DANE. (2010). *Boletín, Censo general 2005*. 9–14.

DONDI, M., MARSIGLI, M., & FABBRI, B. (1997). Recycling of Industrial and urban wastes in brick production : A review. *Tile & Brick International*, 13(4), 302–315.

Electrificadora de Santander. (2019). Tarifas servicio de energía. Retrieved from <http://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/tarifas/consultartarifas.aspx>

Garavito, E. (2009). *Definición Vivienda de Interés Social*,. 103(332), 40–3400. Retrieved from www.minambiente.gov.co

GLEDHILL, J. (2010). El derecho a una vivienda. *Revista de Antropología Social*, 19, 103–129. <https://doi.org/>-

González, S. A., Sánchez, G. A., & Muñoz, S. (2017). *Comparación financiera entre la construcción tradicional de una vivienda y la construcción sostenible en el sector sub urbano del municipio de Funza Cundinamarca*. 1–73. Retrieved from <http://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14799>

Guimarães, M. (2008). *Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo*. 98.

Hall, M., & Allinson, D. (2009). Analysis of the hygrothermal functional properties of stabilised

- rammed earth materials. *Building and Environment*, 44(9), 1935–1942.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.007>
- Hermes, J., & Rimanoczy, I. (2018). Deep learning for a sustainability mindset. *International Journal of Management Education*, 16(3), 460–467.
<https://doi.org/10.1016/j.ijme.2018.08.001>
- ICONTEC. NSR-10 Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. , Título A Nsr-10 § (1997).
- ICONTEC. *Norma técnica colombiana. BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES. DEFINICIONES. ESPECIFICACIONES. MÉTODOS DE ENSAYO. CONDICIONES DE ENTREGA. NTC 5324.* , (2005).
- ICONTEC. *NTC-ISO14040-2007 Analisis_CicloVida.* , (2007).
- López, M. (2010). *Aiu Methodological Aproximation for Aiu Calculation.* 293–302.
- Manuel, J., Calderón, S., Fernando, L., Alzate, M., Fernando, M., & Quiroz, C. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.*
<https://doi.org/https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/La%20poltica%20generacin%20de%20Ingresos/Cartilla%20Plan%20de%20Desarrollo%20Territorial.pdf>
- Metropolitano, O. (2016). *Encuesta multidimensional Guatiguará.*
- Miembros de la asamblea general de las Naciones. *Declaración Universal de Derechos Humanos.* , (1948).
- Ministerio de Vivienda de Colombia. *Ley1537 de 2012.* , (2012).
- Ministerio de Vivienda de Colombia. (2013). *Guía de construcción sostenible.* (1).

- Minvivienda. *Anexo 1 Código de construcción sostenible en Colombia Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.* , (2013).
- Muñoz V., P., Morales O., M. P., Letelier G., V., & MENDÍVIL G., M. A. (2016). Fired clay bricks made by adding wastes: Assessment of the impact on physical, mechanical and thermal properties. *Construction and Building Materials*, 125, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.024>
- Naciones Unidas. (2015). Ciudades – Desarrollo Sostenible. Retrieved October 25, 2018, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719–729. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- NTC1500, N. técnica colombiana. *Código de fontanería.* , (2004).
- Oikonomou, V., Becchis, F., Steg, L., & Russolillo, D. (2009). Energy saving and energy efficiency concepts for policy making. *Energy Policy*, 37(11), 4787–4796. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.035>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible. In *Isbn 978-92-3-300070-4*. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002524/252423s.pdf>
- Perez, R. (2010). *Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas para Instalaciones* (6th ed.). Ecoe Ediciones.

- Piedecuestana de Servicios públicos. (2019). TARIFAS ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO. Retrieved from <https://www.piedecuestanaesp.gov.co/index.php/servicios/tarifas/2014-05-11-12-50-53>
- Portal Minvivienda Vivienda de interés social. (2009). Retrieved October 16, 2018, from <http://www.minvivienda.gov.co/sobre-el-ministerio/conceptos-juridicos/vivienda-de-interés-social>
- Revista DINERO. (2001). VIS el negocio. Retrieved October 26, 2018, from <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/vis-negocio/7539>
- Rivera, M., & Zaraza, J. (2015). *Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga. Colombia.* 1–157.
- Susunaga, J. M. (2014). *CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO.* 205(01), 76–77. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>
- Vaca, O. A. (2015). *Las condiciones de habitabilidad en la vivienda social del modelo metrovivienda 1991- 2012, caso de estudio: ciudadela nuevo Usme.* 293. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/49868/>
- Zapata, A. (2013). *PROYECTO DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL SOSTENIBLE VISS – LA PINTADA ANTIOQUIA.*
- Zhang, Z., Wong, Y. C., Arulrajah, A., & Horpibulsuk, S. (2018). A review of studies on bricks using alternative materials and approaches. *Construction and Building Materials*, 188, 1101–

1118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.152>