

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento F-AC-DBL-007	Código 30-09-2024	Fecha C
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO	Pág. 1(239)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Guillermo Fabio Vargas Rodríguez		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en Construcción		
DIRECTOR	Sandra Liliana Cano Moya		
CODIRECTOR	Romel Jesús Gallardo Amaya		
TÍTULO DE LA TESIS	Evaluación de viabilidad de tecnologías de construcción no convencionales para viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar: Un análisis integral		
TITULO EN INGLES	Feasibility Assessment of Non-Conventional Construction Technologies for Sustainable Housing in Chiriguaná, Cesar: An Integrated Analysis		
RESUMEN (70 palabras)			
El estudio evaluó la viabilidad de tecnologías de construcción no convencionales para viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar. Se analizaron siete opciones considerando criterios ambientales, sociales y económicos. Mediante revisión bibliográfica, entrevistas y estudios de caso, se seleccionó Steel Framing con paneles aislantes como la alternativa óptima. Se implementó en un modelo BIM, demostrando eficiencia energética, reducción de costos y adaptación al contexto local, con resultados favorables para su ejecución real.			
RESUMEN EN INGLES			
The study assessed the feasibility of non-conventional construction technologies for sustainable housing in Chiriguaná, Cesar. Seven options were analyzed considering environmental, social, and economic criteria. Through literature review, expert interviews, and case studies, steel framing with insulating panels was selected as the optimal alternative. It was implemented in a BIM model, demonstrating energy efficiency, cost reduction, and adaptation to the local context, with favorable results for real-world applications.			
PALABRAS CLAVES	Construcción sostenible, impacto ambiental, modelado BIM, tecnologías de construcción no convencionales, viabilidad social		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Sustainable construction, environmental impact, BIM modeling, non-conventional construction technologies, social viability		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 239	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 43	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**Evaluación de viabilidad de tecnologías de construcción no convencionales para viviendas
sostenibles en Chiriguaná, Cesar: Un análisis integral**

Guillermo Fabio Vargas Rodríguez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción

Ph.D. Sandra Liliana Cano Moya

09 Mayo del, 2025

Índice

Lista de Figuras	8
Lista de Apéndices	10
Introducción	11
1. Evaluación de viabilidad de Tecnologías de Construcción no convencionales para viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar: Un análisis integral.....	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Formulación del problema	16
1.3 Objetivos... ..	16
1.3.1 General	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4 Justificación.....	17
1.5 Delimitaciones.....	19
1.5.1 Geográficas.....	19
1.5.2 Temporales	19
1.5.3 Conceptuales	19
1.5.4 Operativa	20
2. Marco de referencia	21
2.1 Marco histórico	21

	3
2.1.1 Antecedentes	21
2.2 Marco conceptual	23
2.3 Marco contextual	25
2.4 Marco teórico	27
2.5 Marco legal.....	29
3. Diseño Metodológico	32
3.1 Tipo de Investigación	32
3.2 Seguimiento metodológico del proyecto.....	34
3.3 Población.	35
3.4 Muestra.....	36
3.5 Técnicas de recolección de la información	38
3.6 Análisis de la información.....	41
4. Resultados.....	44
4.1 Analizar las tecnologías de construcción no convencionales disponibles en el mercado para determinar las más adecuadas a las condiciones específicas de Chiriguaná y sus requerimientos de sostenibilidad.	44
4.1.1 Tecnologías de construcción no convencionales.....	44
4.1.2 Entrevistas con expertos en construcción sostenible.....	66
4.1.3 Evaluación de estudios de caso relevantes	72
4.2 Clasificar las tecnologías seleccionadas, por medio de su impacto ambiental en términos de reducción de huella de carbono y otros factores ambientales, así como su impacto social en	

términos de accesibilidad y calidad de vida para los residentes de las viviendas sostenibles en Chiriguaná	100
4.2.1 Aplicación de encuestas a la comunidad y profesionales del sector	100
4.2.2 Desarrollo de criterios de clasificación basados en impacto ambiental y social.....	101
4.2.3 Selección de Tecnologías para el Desarrollo del Proyecto	146
4.3 Realizar un análisis financiero detallado de las tecnologías de construcción no convencionales seleccionadas, abarcando tanto el costo de implementación como la rentabilidad a largo plazo, con el propósito de fomentar la adopción de prácticas de construcción sostenible económicamente viables en Chiriguaná, Cesar.....	149
4.3.1 Resumen Ejecutivo.....	149
4.3.2 Proceso constructivo y composición.	150
4.3.3 Normatividad.....	157
4.3.4 Planta arquitectónica propuesta para el análisis financiero.....	159
4.3.5 Desglose y análisis de costo directo.....	161
4.3.6 Criterio de sostenibilidad.....	169
4.3.7 Implementación BIM	178
4.3.8 Presupuesto inicial (implementación)	185
4.3.9 Análisis de rentabilidad a largo plazo	189
5. Conclusiones.....	197

6. Referencias	5 199
Apéndices	206

Lista de tablas

Tabla 1 Modelo Metodológico.....	34
Tabla 2 Bloques de suelo cemento.....	46
Tabla 3 Ladrillos de Geopolímero con residuos de Polvo Cerámico.....	48
Tabla 4 Construcción modular	50
Tabla 5 Steel Framing con paneles de aislamiento térmico	53
Tabla 6 Materiales de construcción reciclados	55
Tabla 7 Contenedores de Envío Reciclados.....	58
Tabla 8 Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	60
Tabla 9 Revisión y comparación de la literatura.....	65
Tabla 10 Casos de estudio.....	93
Tabla 11 Tecnología aplicada / resultado de estudio de caso	100
Tabla 12 Categorías /fuente de emisión.....	106
Tabla 13 Resumen de valores asignados 1.....	116
Tabla 14 Resumen de valores asignados 2.....	122
Tabla 15 Resumen de valores asignados 3.....	126
Tabla 16 Resumen de valores asignados 4.....	132
Tabla 17 Resumen de valores asignados 5.....	135
Tabla 18 Resumen de valores Asignados 6	137
Tabla 19 Resumen de Valores Asignados en el criterio de Inclusión y participación comunitaria	140
Tabla 20 Impacto ambiental reducción de huella de carbono y conservación de recursos.....	141

Tabla 21 Impacto Social.....	144
Tabla 22 Clasificación final criterios sociales y ambientales.....	147
Tabla 23 Costos materiales	164
Tabla 24 Elementos del sistema	175
Tabla 25 Presupuesto vivienda steel framing.....	185
Tabla 26 Programación de Obra.....	187
Tabla 27 Costo total directo para vivienda construida con metodología de construcción Steel framing, sin analizar el sistema fotovoltaico.....	190
Tabla 28 Costo total directo para vivienda construida con métodos convencionales.	191
Tabla 29 Ahorros a largo plazo	193

Lista de Figuras

Figura 1 SIAH-Liveble.....	74
Figura 2 Detalles de la estructura.....	77
Figura 3 Estudio de caso Ladrillos de geopolímero en regiones áridas.....	79
Figura 4 Esquema de la producción de ladrillos geopoliméricos termoaislantes a partir de residuos industriales	80
Figura 5 Ubicación geográfica de Chiriguaná Cesar.....	127
Figura 6 Construcción y composición.....	151
Figura 7 Cimentación para proyecto de Steel Framing en Chiriguaná	152
Figura 8 Perfiles Usados en Light Steel Framing	153
Figura 9 Sección típica de muros	154
Figura 10 Propuesta de planta arquitectónica.....	160
Figura 11 Perfil industrializado C (PGC).....	162
Figura 12 Perfil industrializado C (PGC) / Steel Framing.....	163
Figura 13 Ficha técnica perfil montante.....	163
Figura 14 Ficha técnica Perfil Omega (PGO)	163
Figura 15 Tarifas mano de obra y prestaciones sociales 2024.....	166
Figura 16 Consumo de materiales de construcción en seco.....	168
Figura 17 Mapa de radiación Solar	172
Figura 18 Modelado de Familias estructurales.....	179
Figura 19 Modelado de paneles	180
Figura 20 Modelado Vivienda.....	181

Figura 21 Render modelado de vivienda.....	182
Figura 22 Modelado de vivienda revestimiento	183
Figura 23 Tabla de planificación.....	184
Figura 24 Bloques de suelo cemento.....	208
Figura 25 Geopolimero	209
Figura 26 Construcción modular.....	209
Figura 27 Steel Framing.....	210
Figura 28 Casa con materiales reciclados	211
Figura 29 Casa container.....	211
Figura 30 Casa de Tapial.....	212
Figura 31 Distribución de viviendas encuestadas en el municipio de Chiriguaná.....	216
Figura 32 Coordenadas de las viviendas encuestadas en el municipio de Chiriguaná.....	217
Figura 33 Pregunta número uno de la encuesta.....	223
Figura 34 Pregunta número dos de la encuesta	225
Figura 35 Pregunta número tres de la encuesta.....	226
Figura 36 Pregunta número cuatro de la encuesta.....	227
Figura 37 Pregunta número cinco de la encuesta	228
Figura 38 Pregunta número seis de la encuesta.....	230
Figura 39 Pregunta número siete de la encuesta	231
Figura 40 Pregunta número ocho de la encuesta.....	233
Figura 41 Pregunta número nueve de la encuesta	235
Figura 42 Pregunta número diez de la encuesta	236
Figura 43 Pregunta número once de la encuesta	237

Apéndices

Apéndice A. Guion de preguntas	206
Apéndice B. Glosario	208
Apéndice C. Matriz de operacionalización de variables	213
Apéndice D. Aplicación de encuestas a la comunidad y profesionales del sector... ..	211

Introducción

El desarrollo de soluciones sostenibles en la edificación es uno de los retos que asume la humanidad a nivel global como consecuencia de la necesidad de controlar el impacto provocado por el cambio climático a la par que el medioambiental en estos procesos. Es así como, el municipio de Chiriguaná, Cesar, presenta características muy específicas desde el punto de vista de la sostenibilidad de sus viviendas, en parte por su clima cálido como por la difícil condición socioeconómica de su población. Por esta razón, las tecnologías de construcción no convencionales son una alternativa que hoy en día permite el ahorro energético y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorando a la par el confort térmico y la calidad de vida de las personas que habitan una vivienda.

El objetivo primordial de este proyecto es evaluar la factibilidad de la implantación de este tipo de tecnologías en Chiriguaná, de manera que se plantea un enfoque integrador que engloba los aspectos técnicos, económicos, sociales y medioambientales. La investigación se centrará en el reconocimiento de las tecnologías que puedan ser adaptadas a las condiciones del contexto local, en la categorización de las mismas para analizar su impacto medioambiental y social y también la evaluación de su rentabilidad a largo plazo.

Entre las tecnologías que se analizarán se encuentran los bloques de suelo-cemento, el uso de ladrillos de geopolímero, el sistema de construcción modular y el steel framing mediante paneles aislantes térmicos, siendo éstas seleccionadas por su capacidad para la reducción de la huella de carbono, así como por optimizar el uso de recursos.

La importancia del estudio radica en la capacidad que tiene para poder ofrecer soluciones prácticas y aplicables a la región, ofreciendo un modelo replicable a otras zonas con características similares. Pero también se enmarca dentro de la exigencia creciente de las viviendas sostenibles, que no sólo persigan el objetivo de minimizar el gasto energético y el consumo de las viviendas, sino que se incluya el empleo de materiales reciclados o de métodos constructivos más eficientes. La inclusión de un análisis financiero pormenorizado permite saber si son viables no sólo medioambientalmente hablando sino económicamente, facilitando así su difusión a más amplia escala.

Por medio de un proceso de revisión de la literatura, entrevistas a expertos y estudios de caso, se espera que este trabajo entregue una ayuda notable a la implementación de nuevas tecnologías sostenibles en el ámbito de la construcción en Colombia que a su vez beneficie y ayude en la lucha mundial contra el cambio climático.

1. Evaluación de viabilidad de Tecnologías de Construcción no convencionales para viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar: Un análisis integral

1.1 Planteamiento del problema

La materia de la cual se deriva el origen de este proyecto es la escasez de viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar, donde las actuaciones de las construcciones presentan un elevado consumo energético y no se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas del entorno natural, lo que lleva a tener un impacto ambiental notable. Pruebas de Porto Eljach y Saldarriaga Hoyos (2019) invocan la carencia de prácticas sostenibles en las edificaciones, lo cual hace que se agrave el deterioro del mismo y el aumento de los costos de las energías. En un entorno en que la necesidad de viviendas demanda contribuir con este problema del acceso limitado a la tecnología para la construcción no convencional a base de bloques de suelo cemento y ladrillos de geopolímero, se sabe que estas aportan beneficios para mitigar la huella de carbono y contribuir con el confort térmico (Bedoya Montoya, 2018; Tarek et al., 2022).

A nivel mundial se ha comprobado que el uso de tecnologías de la construcción innovadora como los paneles aislantes aporta una reducción pertinente del consumo energético de los edificios, en los climas más cálidos (Kumar et al., 2023). Sin embargo, en Colombia aun es un reto comprobar la existencia de estudios que consideren la viabilidad técnica y económica de estas tecnologías en regiones como Chiriguaná, sobre todo en un contexto donde el déficit de viviendas eficientes y sostenibles aumenta la vulnerabilidad de la población ante las condiciones climáticas adversas y los altos costos de la energías (Mosquera Ayala & Noreña Trejos, 2020).

Por todo lo anterior, esta investigación reconoce dicha problemática evaluando las posibilidades de implementar las tecnologías de la construcción sostenibles, adaptadas a las características sociales, económicas y ambientales de Chiriguaná, en procura de mejorar la calidad de vida de los habitantes a partir de la reducción de la huella ambiental, fomentar la eficiencia de los recursos energéticos y adoptar soluciones habitacionales que sean viables económicamente, como lo sustentan los autores Acosta & Clinto Sarli, (2005).

La construcción sostenible ha ganado reconocimiento como la solución que se ha desarrollado para intentar responder ante los problemas ambientales actuales, como la posibilidad de reducir la huella de carbono y la adecuada gestión de recursos como agua y energía (Ding, 2008). Las tecnologías de construcción no convencionales, tales como los bloques de suelo-cemento, constituyen unas alternativas para contribuir con la reducción de la huella ambiental y resolución de problemas de costos en el largo plazo (Bedoya Montoya, 2018). La construcción de viviendas sostenibles contiene el diseño bioclimático, la eficiencia energética y la gestión responsable del agua, cumpliendo con una serie de principios de sostenibilidad propuestos por autores como Acosta y Clinto Sarli (2005), que argumentan la existencia de una integración sistemática de las estrategias sostenibles para el crecimiento urbano.

A nivel internacional, se han realizado diversas innovaciones tecnológicas como el caso de los ladrillos de geopolímero que optimizan la envoltura del edificio con la finalidad de mejorar la eficiencia energética en climas áridos, siendo el de climatización de los espacios menos demandante (Tarek et al., 2022). De igual forma Kumar et al. (2023) presentan la utilidad de los paneles aislantes en la envoltura de edificios, que disminuyen considerablemente la demanda

energética. Estas innovaciones resaltan la importancia de las tecnologías no convencionales para la mitigar el impacto ambiental de las edificaciones.

Desde un estudio en el contexto colombiano se puede traer a colación el de Mosquera Ayala y Noreña Trejos (2020), además de Porto Eljach y Saldarriaga Hoyos (2019), quienes consideran la sostenibilidad como la máxima aplicabilidad al contexto de las viviendas sociales que permiten la reducción de la huella ambiental. Pero en Chiriguaná, Cesar, la contraposición de viviendas eficientes energéticamente, frente a las casas demandantes energéticamente, muestran que las edificaciones predominantes no se caracterizan por ser eficientes energéticamente, y se evidencia su capacidad para reducir el impacto ambiental por ser muy alto, además de no congresar con las condiciones climáticas locales, lo que dificulta la situación.

La presente investigación tiene como propósito entonces intentar dar respuesta a dicha problemática, explorando así la posibilidad de la utilización de tecnologías no convencionales para la construcción en Chiriguaná. El proyecto busca generar un diseño de soluciones para la vivienda sostenible a partir de una integración de situaciones climáticas, económicas y culturales, que promuevan, al mismo tiempo, la eficiencia energética y el uso responsable de los recursos.

Se considera, además, que las tecnologías no convencionales no solo pueden disminuir el impacto ambiental negativo generado por el estar humano, sino que pueden también mejorar la calidad de vida de los pobladores de Chiriguaná, dotándole a su vez de un modelo replicable para el resto del país.

1.2 Formulación del problema

¿De qué manera la implementación de tecnologías de construcción no convencionales puede contribuir a la mejora de las condiciones ambientales y sociales en la construcción de viviendas sostenibles en el municipio de Chiriguaná, Cesar?

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Evaluar la viabilidad integral de la implementación de tecnologías de construcción no convencionales con el fin de promover la construcción de viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar las tecnologías de construcción no convencionales disponibles en el mercado para determinar las más adecuadas a las condiciones específicas de Chiriguaná y sus requerimientos de sostenibilidad.

Segmentar las tecnologías en función de sus impactos ambientales en términos de huella de carbono y otros impactos ambientales, como también su impacto social en términos de accesibilidad a y calidad de la vida de los habitantes de las viviendas sostenibles de Chiriguaná.

Elaborar un análisis financiero de las tecnologías de construcción no convencionales seleccionadas a partir del costo de la implementación como también del retorno a largo

plazo a efecto de fomentar la selección de prácticas de construcción sostenible que sean económicamente viables en Chiriguaná, Cesar.

1.4 Justificación

Desde los cambios que trae el cambio climático, la construcción sostenible ha pasado a ser uno de los imperativos de la vida moderna. Esto es consecuencia de las exigencias, que vienen derivadas de la necesidad de disminuir el impacto ambiental y de ahorrar energía en el uso de las edificaciones. Estos requerimientos son incluso más evidentes en las zonas cálidas o tropicales, como lo que se trata en este trabajo, desde el contexto de Chiriguaná, en el departamento de Cesar (Colombia), ya que su alta demanda energética y el déficit de vivienda eficiente hacen que sea urgente encontrar alternativas que garanticen un nivel de calidad ambiental a la par de la creciente demanda de edificaciones que permitan combatir el cambio climático, tal y como se sugiere en este proyecto, que plantea la evaluación de tecnologías de construcción no convencionales como respuesta viable para la atención de estas necesidades.

La importancia de este trabajo señala el hecho de que, adaptando e implementando tecnologías para mejorar la calidad de vida de los habitantes, con un uso racional de las energías, como indican Kumar et al. (2023) al mostrar cómo la utilización de paneles de aislamiento y tecnologías innovadoras puede suponer una disminución importante de la energía que se demanda en zonas cálidas.

Por otro lado, el hecho de plantearse la sostenibilidad en la construcción, tal y como ponen de relieve Mosquera Ayala y Noreña Trejos (2020), llevan a exaltar la importancia que tendría la búsqueda de alternativas que vayan en la línea de lo económicamente viable y, además, que tengan una menor huella ambiental.

El uso de materiales reciclados o bien locales, como los bloques de suelo cemento, supone una manera de disminuir el coste de construcción y, al mismo tiempo, mejorar la sostenibilidad ambiental (Bedoya Montoya, 2018), siendo este un hecho de enorme importancia para regiones como Chiriguaná, donde escasean los recursos económicos y la infraestructura en el caso de los materiales para una construcción que no sea sostenible desde el punto de vista ambiental.

Finalmente, la posibilidad de implementar estas tecnologías de construcción innovadoras con diseños bioclimáticos de acuerdo al contexto local parece ofrecer la oportunidad de conseguir una disminución relevante del uso de recursos para climatizar, tal y como muestran Tarek et al. (2022), quienes demuestran que recuperar aquellas tecnologías como los ladrillos de geopolímero son de gran efectividad para climas áridos.

El proyecto incluye, además, un componente social importante. Existen estudios como el de Montoya Cruz y García Hernández (2019) donde se llega a la conclusión que la aceptación y la adaptación a las tecnologías sostenibles que se quiere implementar en la comunidad dependerá de la participación de la misma y del conocimiento existente en ella de las ventajas de las tecnologías. Por lo tanto, en este trabajo no solo se busca evaluar la viabilidad técnica para

aplicar las diferentes tecnologías sostenibles, sino que también se plantea la aceptación social de las tecnologías mediante programas de capacitación y sensibilización en la población.

1.5 Delimitaciones

Para esta investigación se determinaron las siguientes delimitaciones:

1.5.1 Geográficas

Este proyecto tendrá lugar en el municipio de Chiriguaná, departamento del Cesar, Colombia, teniendo en cuenta que lo arrojado en el estudio solo será resultado de la comunidad participante.

1.5.2 Temporales

El desarrollo del proyecto se iniciará en un periodo de tiempo estimado en 6 meses, aunque podrá ser flexible, dependiendo del tiempo de investigación y el desarrollo de la misma.

1.5.3 Conceptuales

El proyecto se ubica en la línea de investigación de construcción sostenible, y dentro de ella se encuentran las siguientes temáticas:

Tecnologías de construcción no convencionales: se consideran aquellas tecnologías y métodos de construcción alternativos aplicables al clima y a las condiciones socioeconómicas de Chiriguaná, haciendo lo posible para que estos dos factores encajen con las prácticas culturales de construcción en la localidad.

Viviendas sostenibles: orienta el diseño y la construcción de viviendas adheridas a la práctica de reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida, poniendo en valor las dinámicas sociales y culturales propias de Chiriguaná.

Viabilidad integral: se exploran aspectos de la viabilidad técnica, económica, social y ambiental para tratar de aplicar un modelo de tecnologías no convencionales aplicables al contexto local que sea replicable y sostenible.

Construcción sostenible: se incluyen prácticas y tecnologías en la gestión de recursos como el agua y la energía; se eligen materiales sostenibles; se integran sistemas como paneles solares y diseños bioclimáticos, tratando de incorporar un estándar de construcción que sea sostenible en el tiempo. Estos conceptos y prácticas son los que marcan a la construcción sostenible, que busca no solo reducir el impacto ambiental de los edificios sino que trata de generar espacios que mejoren la calidad de vida de las personas y la sostenibilidad del futuro.

1.5.4 Operativa

Para la investigación de tecnologías de la construcción no convencionales se utilizarán diversas técnicas, como análisis de bibliografía, software de simulado energético, encuestas a expertos y profesionales del sector. Se hará aprovechamiento de los recursos humanos y físicos en la Universidad, en la infraestructura digital y en los espacios virtuales para poder facilitar el entorno colaborativo y de investigación durante el desarrollo del proyecto.

2. Marco de referencia

2.1 Marco histórico

2.1.1 Antecedentes

La crisis climática y el creciente interés alrededor del concepto de sostenibilidad han generado un importante replanteamiento de las costumbres en la construcción. En estos últimos cinco años, la investigación científica ha centrado sus esfuerzos en el emplear la adaptación, y la innovación del sector de la construcción para adecuarse a los principios que reivindican la sostenibilidad y la eficiencia energética.

En el ámbito nacional, Porto Eljach y Saldarriaga Hoyos (2019) estudiaron la viabilidad técnica de implementar prácticas ambientales en la construcción sostenible, indicando que es posible llevar a cabo certificaciones de sostenibilidad sin comprometer ni la calidad, ni la viabilidad del proyecto.

Por su parte, Montoya Cruz y García Hernández (2019) enfatizan la importancia de la aceptabilidad social y la viabilidad técnica en la adopción de materiales locales en la construcción de viviendas. Es decir, se trata de un estudio clave para revisar la sostenibilidad ambiental y la aceptación social de las nuevas tecnologías constructivas.

Dentro de una perspectiva más técnica Tarek et al., (2022) analiza cómo se podría llevar a cabo una optimización de la envoltura de los edificios con el uso de ladrillos de geopolímero, una tecnología que además de mejorar la eficiencia energética, también podría ayudar a reducir

la huella de carbono; un elemento fundamental para la construcción de viviendas en zonas áridas y cálidas, donde el control térmico es un reto.

En una línea similar Kumar et al. (2023) estudian cómo se pueden desarrollar paneles resistentes al calor y de almacenamiento de la envoltura de edificios, así como una reducción significativa de la carga térmica y del consumo energético de los edificios. Esta tecnología resulta muy importante para regiones como Chiriguana, donde las altas temperaturas exigen respuestas innovadoras al reto que plantean las condiciones climáticas para conseguir el confort térmico.

Asimismo, Moghayedi et al., (2023) plantea el cómo la adopción de tecnologías innovadoras puede contribuir a la sostenibilidad de la vivienda asequible. Este artículo ofrece un contexto muy interesante para la interpretación de las intervenciones tecnológicas en términos de su calidad de ser social y económicamente relevantes en comunidad con pocos recursos.

Finalmente, Li et al., (2023) ofrecen una revisión muy completa de políticas, tecnologías y métodos de evaluación para edificios de baja en bajas emisiones de carbono, lo que apoya la necesidad de una mirada política integrada en el marco de la gestión de proyectos de construcción sostenible.

En conclusión, Estos antecedentes presentan una tendencia en la investigación y desarrollo de estrategias de construcción, ya que no se centran únicamente en la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, sino que en cambio se centran en la viabilidad

económica y en la aceptación cultural, las cuales son elementos clave para el desarrollo y la aplicabilidad de las nuevas tecnologías en la construcción sostenible.

2.2 Marco conceptual

Sostenibilidad en la construcción

La sostenibilidad en la construcción hace alusión al desarrollo y el control de edificios que favorecen la eficiencia energética, el bienestar ambiental y la responsabilidad social. Trayendo a colación a Li et al., (2023) esta percepción es amplia y engloba desde la selección de los materiales a tomar hasta el diseño o explotación de los edificios, con el objetivo de reducir la huella ambiental y mejorar la calidad de vida de las personas ocupantes. Se puede relacionar pues la sostenibilidad en la construcción en la construcción de casas en Chiriguaná dado que el objetivo es que los diseños de las casas logren hacer frente a los sistemas de climatización de aire acondicionado, mediante diseños favorables a la ventilación natural y confort térmico.

Tecnologías de la construcción según nuevas maneras de construir

Se entiende por tecnologías de la construcción aquellas prácticas y los materiales de la construcción que no se ajustan a las propias de las maneras de construir convencionales, para hacer posible una mayor sostenibilidad y eficiencia de las edificaciones. Kumar et al., (2023) destacan el uso de paneles resistentes al calor como una de estas tecnologías, ofreciendo una

alternativa a los métodos de construcción estándar que a menudo resultan ineficientes en climas extremos.

Eficiencia energética

Es la reducción del consumo de energía para proporcionar los mismos servicios o lograr los mismos resultados. Tarek et al., (2022) describen cómo la optimización de la envoltura del edificio mediante ladrillos de geopolímero mejora significativamente la eficiencia energética en viviendas ubicadas en zonas áridas calurosas.

Viabilidad económica

La viabilidad económica evalúa si una tecnología o proyecto es financieramente sostenible a largo plazo. Moghayedi et al., (2023) sostienen que la sostenibilidad de la vivienda asequible es posible cuando las tecnologías implementadas son económicamente viables, enfatizando la importancia de considerar el coste inicial frente a los beneficios a largo plazo.

Impacto ambiental y social

Refiere a las consecuencias que un proyecto o tecnología tiene sobre el medio ambiente y la sociedad. Montoya Cruz y García Hernández (2019) examinan cómo la aceptabilidad social y la factibilidad técnica de los materiales locales pueden tener un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental y la cohesión de la comunidad.

Confort térmico

Dentro de la definición de este término que se encuentra que es la condición del confort térmico en que están las personas ocupantes de un edificio. La investigación de Diulio et al., (2016), se centra en cómo la envoltura del edificio incide en las necesidades de calefacción y refrigeración, lo que provoca a su vez el confort térmico en el interior de las viviendas.

Es así como los conceptos expuestos son el hilo conductor de la investigación, y cada uno de ellos aporta a la comprensión global de cómo la construcción sostenible y las tecnologías no convencionales producen efectos e impactan en Chiriguaná. Las referencias que sirven de soporte para poder definir estas temáticas son actuales y reconocidas dentro del ámbito de la construcción sostenible, y sirven para poder dar el fundamento de la investigación, y su aplicabilidad a la misma.

2.3 Marco contextual

El presente trabajo se localiza dentro del cambiante ámbito de la construcción de Chiriguaná, Cesar, una región que entrelaza problemas de difícil solución, provocados tanto por el clima cálido como por la peligrosidad y condiciones socioeconómicas de la población.

La realidad actual de la industria de la construcción presenta cambios paradigmáticos hacia prácticas más sostenibles y responsables, tanto por la concienciación de la alta preocupación medioambiental que existe en el mundo como por la obligación sustantiva -local- por buscar soluciones que mejoren el día a día de los habitantes a través de infraestructuras más

óptimas y económicamente accesibles. La época actual, marcada por la mirada hacia el cumplimiento de los ODS de la ONU –Objetivos de Desarrollo Sostenible- y que empujan a replantear algunas prácticas de la construcción en pro de conseguir alcanzar objetivos más amplios de sostenibilidad, no hace más que incrementar el reto que tienen las prácticas de construcción en Chiriguana.

La construcción allí se ve condicionada por las altas temperaturas que la caracterizan y que exigen, para estas obras, un perfil que acompañe el confort térmico que demandan los edificios de este tipo de condiciones, sin que ello suponga un elevado consumo energético.

En el contexto descrito, las entidades y empresas de construcción locales están replanteándose las prácticas tradicionales. La mayoría de ellas se dedican a la construcción de viviendas, proyectos comerciales y habitualmente están formadas por equipos compuestos de arquitectos, ingenieros, obreros de la construcción, o bien por consultores medioambientales.

Las entidades y empresas de construcción, por consiguiente, van desde empresas de pequeña dimensión y medianas o grandes, siendo algunas de estas segundas, empresas que están implicadas en proyectos a gran escala. Independientemente del tamaño, todas ellas se enfrentan al reto de tener que acceder a las tecnologías de construcción no convencionales así como lo que es la práctica de la sostenibilidad. Las particularidades de estas entidades, tales como su organización, sus recursos, su experiencia en técnicas de construcción sostenible y su capacidad innovadora son elementos clave a la hora de poder adaptarse a las demandas que provocan el cambio de la presente visión del mercado. Por otro lado, la interacción entre estas entidades y las

políticas desarrolladas a nivel local y nacional, y las normativas ambientales también constituyen aspectos clave para dar soporte o restringir la capacidad para poder desarrollar prácticas de una construcción sostenible.

El trabajo pretende no sólo identificar y analizar la posibilidad de las tecnologías de la construcción no tradicionales para Chiriguaná sino entender de qué manera las circunstancias actuales (del clima, de la economía, de las normativas, etcétera) influyen y perciben las decisiones y estrategias que toman las empresas del sector. De esta manera se pretende ofrecer directa o indirectamente tareas a las entidades y empresas locales.

Se propone que este marco contextual supone una base para poder entender la relevancia y la urgencia del estudio, reforzando la visión de la fundamental interacción entre el cambio de la construcción sostenible y las circunstancias específicas en las que se realiza, que pone de relieve la necesidad de un cambio hacia formulaciones de la construcción más sostenibles y eficientes en Chiriguaná.

2.4 Marco teórico

El marco teórico para el análisis de la aplicación de tecnologías de construcción no convencionales en Chiriguaná se sustenta en enfoques y prácticas actuales de construcción sostenible.

Al final se ofrece una recopilación de conocimientos ya consolidados pero también una puesta en manifiesto de inquietudes sobre los conocimientos que se tienen en la actualidad, asentando una lógica de especialidad y formular una base conceptual para el análisis.

Teorías de construcción sostenible.

Las teorías actuales sobre la construcción sostenible son aquellas que abordan la construcción en un punto intermedio entre el desarrollo económico, la conservación medioambiental y la justicia social. La idea de que la construcción sostenible tiene acaso una concepción sistémica sobre el ciclo de vida de la edificación (desde el nacimiento de su idea hasta su posterior demolición o reforma), idea que a su vez está muy conformada en el trabajo de los autores Tarek et al. (2022) el cual estudia materiales y técnicas que aplican recursos de construcción que ayudan a controlar la huella de carbono y la eficiencia energética de esas edificaciones.

Innovación de materiales y técnicas.

La innovación forma parte de la búsqueda de soluciones a los problemas de construcción en climas cálidos. Las investigaciones de Tarek et al. (2022) aportan una mirada sobre la adaptación de materiales y técnicas innovadoras para mejorar el confort térmico y la demanda de refrigeración artificial para condiciones climáticas cálidas.

Evaluación de las condiciones económicas y sociales

Uno de los apartados poco explorados es la evaluación integral de las condiciones económicas y sociales de las tecnologías de construcción no convencionales. Estudios como el de Moghayedi et al. (2023), Montoya Cruz y García Hernández (2019) aportan una mirada a la importancia de tener en cuenta la aceptación y la viabilidad de la implementación de estas tecnologías para comunidades determinadas, un aspecto que requiere mucho más investigación para su aplicación en Chiriguaná.

Integración de la cultura y política local

El marco conceptual debe considerar también la integración de la cultura y de la política en la adopción de prácticas de construcción sostenible. Las políticas locales y regionales, las costumbres de construcción locales son, en este sentido, factores relevantes en la aceptación y el éxito de la nueva tecnología, según lo sugiere Li et al., (2023).

2.5 Marco legal

El marco jurídico para la creación de viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar, se fundamenta en el cumplimiento de las normativas que regulan la construcción, las directrices para la protección del medio ambiente y las regulaciones sobre la responsabilidad social. Este marco nos permite percibir los proyectos de construcción, no sólo por la forma en que cumplen con las regulaciones que fortalecen la construcción sostenible y la eficiencia energética, sino

cómo se garantizan las normativas que regulan el derecho de autor y la protección de la información personal.

Normatividad de la construcción

El proyecto queda obligado bajo la legislación del Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) como a las directrices del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual desarrolla la construcción segura y sostenible. Además de las orientaciones del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible y la legislación de normas técnicas ambientales que desarrollan el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El Decreto 1285 (2015) y la Resolución 549 (2015) por su parte representan un apoyo mayor en este sentido, ya que exponen las condiciones que hay que cumplir para realizar proyectos de viviendas sostenibles en Colombia, las que explicitan por ejemplo, la forma en que se debe hacer el diseño eficiente de los recursos, la forma en que gestionando los residuos y el uso de los materiales sostenibles. Las cuales se han de aplicar a nivel nacional como al municipio de Chiriguaná, Cesar, de forma que el cumplimiento en el ejercicio de los proyectos de construcción se rige por el cumplimiento de lo que se enuncia (Ministerio de Defensa Nacional & Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2015).

Protección de datos personales

De ser el caso incluso de recoger datos personales a lo largo de la investigación, se acatará el principio de la Ley Estatutaria 1581 de 2012, parcialmente reglamentada a partir del Decreto 1377 (2013) como aquella que protege incluso las bases de datos personales, así como la forma en que hay que gestionarlas como responsables en su gestión. Se deberá asegurar el consentimiento informado de las personas participantes y la confidencialidad de los datos recogidos (Congreso de la República de Colombia, 2012).

Normas internacionales

Por otra parte, el proyecto respetará la normativa internacional como las directrices de la ISO de construcción sostenible, la ISO 15392:2008 de Sostenibilidad en la Construcción, la ISO 21931-1:2010 que permite realizar la evaluación del rendimiento ambiental de los edificios.

La normativa internacional constituye no solo el punto de partida de la construcción ética y responsable del proyecto, sino que también asegura la conformidad con las mejores prácticas y directrices internacionalmente reconocidas, proporcionando al mismo tiempo la validez y la integridad del trabajo de investigación.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

Tipo de Investigación

La investigación que se propone contemplará un diseño mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para indagar sobre la implementación de tecnologías de construcción no convencionales en Chiriguaná, Cesar.

Cualitativa

La investigación contempla la utilización de entrevistas semiestructuradas a expertos del campo de la construcción y a personas implicadas en los procesos de construcción locales como una forma de recoger datos cualitativos. A través de dichas entrevistas se buscará recoger, en la medida de lo posible, las percepciones profundas, opiniones y experiencias que den cuenta de la adaptabilidad y aceptación de tecnologías de construcción no convencionales en el escenario socioeconómico y cultural del entorno.

Cuantitativa

Simultáneamente, la implementación de un análisis cuantitativo relacionado con la viabilidad económica de las tecnologías de construcción sostenible mediante la evaluación de

datos numéricos asociadas a: gastos iniciales, la estimación de ahorros futuros, la eficiencia energética, etc., utilizando técnicas estadísticas con el objeto de poder cuantificar y anticipar el comportamiento económico y energético.

La mezcla de estos dos enfoques da como resultado obtener un análisis integrador de la propuesta de tecnologías de construcción no convencionales que permiten comprender la viabilidad técnica y económica del proyecto, así como tener en cuenta las dimensiones humanas y sociales que influirán en el éxito de las prácticas sostenibles de construcción en Chiriguaná.

Alcance de la investigación cuantitativa

Correlacional:

Se buscará analizar las relaciones existentes entre las tecnologías de construcción no convencionales y sus indicadores de sostenibilidad, eficiencia energética y coste de construcción. Lo que permitirá en última instancia determinar la existencia de una correlación positiva entre la adopción de tecnologías de construcción no convencionales y las mejoras en la sostenibilidad de las viviendas.

Explicativo

Gracias al estudio de esta investigación se buscará también explicar cómo y por qué las tecnologías pueden mostrar un mejor rendimiento en Chiriguaná. La combinación de estos dos

alcances permitirá entender las relaciones entre las variables y los mecanismos subyacentes que explican estos vínculos, lo que facilita el desarrollo de recomendaciones basadas en evidencia para la implementación efectiva de tecnologías de construcción sostenible en la región.

3.2 Seguimiento metodológico del proyecto

Esta investigación tiene como objetivo analizar y clasificar tecnologías de construcción no convencionales para Chiriguaná. A través de la revisión de literatura, entrevistas y estudios de caso, se evaluarán estas tecnologías por su impacto ambiental y social. Además, se realizará un análisis financiero para determinar su rentabilidad y viabilidad económica.

Tabla 1

Modelo Metodológico

Objetivos de la investigación	Actividades por objetivo	Indicador por actividad
Analizar las tecnologías de construcción no convencionales disponibles para determinar las más adecuadas para Chiriguaná.	Revisión de literatura actualizada sobre tecnologías de construcción no convencionales.	Número de tecnologías revisadas
	Entrevistas con expertos en construcción sostenible.	Cantidad de expertos consultados

	Evaluación de estudios de caso relevantes.	Estudios de caso evaluados
Segmentar las tecnologías seleccionadas por su impacto ambiental y social.	Aplicación de encuestas a la comunidad y profesionales del sector	Número de encuestas realizadas
	Desarrollo de criterios de clasificación basados en impacto ambiental y social	Criterios de clasificación establecidos
	Análisis de datos cualitativos	Calidad del análisis de datos.
Realizar un estudio financiero de las tecnologías seleccionadas.	Recopilación de datos de costos de implementación y mantenimiento	Datos financieros recopilados
	análisis de rentabilidad y ahorros proyectados	indicadores de rentabilidad calculados
	modelado financiero.	precisión del modelado financiero.

3.3 Población

La población de este estudio se centra en las viviendas de Chiriguaná, Cesar, dado que el objetivo es evaluar la viabilidad y el impacto de la implementación de tecnologías de construcción no convencionales en el contexto residencial. Se estima que la población total de

viviendas en Chiriguaná es de aproximadamente 9,077, basada en una población general de 31,771 habitantes y un promedio de 3.5 habitantes por vivienda. Esta población representa un espectro integral de contextos habitacionales que varían en diseño, uso de tecnología y prácticas de sostenibilidad (DANE, 2010).

3.4 Muestra

Con el objetivo de establecer el tamaño de la muestra que satisfaga los requerimientos para la recolección de datos cuantitativos, se empleará la siguiente fórmula para poblaciones finitas (Miras, 2000):

$$n = \frac{z^2 * N * p * q}{p * q * z^2 + (N - 1) * e^2}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

z: Nivel de confianza

N: Tamaño de la población

p: Proporción deseada

q: Proporción no deseada

e: Error máximo tolerable

Tamaño muestral

Se refiere al subconjunto de la población que se obtiene mediante fórmulas matemáticas para adquirir una muestra representativa y confiable.

Nivel de confianza

Para este estudio, se establece un nivel de confianza del 95%, que corresponde a un valor de z de 1.96

Tamaño de la población

Basado en el número de viviendas en Chiriguaná, se ha estimado una población de 9,077 viviendas (Alcaldía Municipal de Chiriguaná, comunicación personal, 2024)

Proporción deseada y no deseada

Al no tener una estimación específica del fenómeno de interés, se utiliza el valor recomendado de 50% para p , lo que maximiza el tamaño de la muestra para una variabilidad desconocida y se toma q como $1 - p$

Error máximo tolerable

Se ha elegido un error del 5%, es decir $e = 0.05$, lo cual es común en investigaciones sociales. A continuación la aplicación de la formula teniendo en cuenta los parámetros mencionados anteriormente

$$n = \frac{1.96^2 * 9077 * 0,5 * 0,5}{0,5 * 0,5 * 1.96^2 + (9077 - 1) * 0,05^2}$$

$$n = 368,60 \approx 369$$

Esto resulta en una muestra de aproximadamente 369 viviendas, que se seleccionarán aleatoriamente para el estudio.

3.5 Técnicas de recolección de la información

En relación con el abordaje integral de los objetivos de este proyecto de investigación sobre la posibilidad de las tecnologías de construcción no convencionales en Chiriguaná, se utilizarán varias técnicas de recolección de información. Las técnicas que se utilizarán son las siguientes: observación, análisis documental, entrevistas y encuestas.

Observación

Se realizarán visitas a las obras para observar in situ las tecnologías de construcción en uso; y tomar notas estructuradas del uso de tecnologías sostenibles y no convencionales, así

como de las funciones y el comportamiento de los trabajadores y gestores de proyectos en su campo laboral.

Análisis documental

Se revisarán documentos de interés, como normativas de construcción, planos arquitectónicos, informes de sostenibilidad y estudios de impactos. La revisión de documentos de interés permitirá una mejor lectura del marco normativo y de las tendencias del diseño y la ejecución de los proyectos de construcción sostenible en la región (Chiriguaná).

Entrevistas

Se realizarán entrevistas semiestructuradas con expertos en construcción sostenible, arquitectos, ingenieros y responsables de políticas públicas. El guion de preguntas de las entrevistas entrará en los temas de la percepción de la eficacia, los retos y las oportunidades de las tecnologías de la construcción no convencionales.

Encuestas

Se elaborarán y distribuirán encuestas a una muestra representativa de la población de Chiriguaná para evaluar la percepción y la aceptación de las prácticas de construcción sostenible. Las encuestas contendrán preguntas cerradas y abiertas para recoger datos cuantitativos y

cualitativos. La proxémica de la cantidad de encuestas a realizar estará supeditada al tamaño que la muestra debiese tener en relación con el total de la población del municipio.

Por otra parte, se definirá el mapa de georreferenciación de las encuestas dentro del municipio, siendo importante crear un mapa que identifique cuáles son los lugares donde se realizarán las encuestas. El mapa de georreferenciación es fundamental para llevar a cabo una distribución equitativa y apropiada del reclutamiento de encuestas en las distintas zonas de Chiriguaná, garantizando una buena cobertura en el marco de la población del municipio.

Guion de preguntas

El guion para las entrevistas y encuestas se elaborará a partir de la bibliografía revisada y los objetivos del estudio. Comprenderá preguntas sobre los beneficios percibidos, las barreras para la adopción y sugerencias de políticas para la difusión de la construcción sostenible.

Validez

Para poder garantizar la validez de los instrumentos de recogida de datos, se utilizará la revisión por pares y el juicio de expertos. Se realizará una prueba piloto sobre las encuestas y entrevistas a un pequeño grupo con el fin de modificar y mejorar las preguntas antes de la aplicación general.

Matriz de operacionalización de variables

La información recuperada se sistematizará mediante una matriz de operacionalización de variables que garantice una relación clara entre las variables del estudio y las técnicas de recolección de datos. Esta matriz incluirá indicadores/dimensiones de cada variable y las correspondientes fuentes para la recogida de datos.

3.6 Análisis de la información

Con el propósito de realizar un adecuado y eficiente análisis de los datos recogidos, se emplearán métodos que faciliten la interpretación y el acceso a dicha información. La pretensión será la de conseguir una interpretación sencilla y rápida sin merma de una correcta interpretación precisa y exhaustiva.

Tabulación y análisis estadísticos

Los datos cuantitativos obtenidos a través de encuestas y mediciones serán tabulados y analizados mediante Microsoft Excel, una aplicación que proporciona robustas opciones de análisis estadístico básico. Se calcularán índices descriptivos como medias, mediana y la moda, además de gráficos que permitan la visualización de la distribución de los datos y las tendencias. Se emplearán también herramientas de Excel como las tablas dinámicas con las que resumir y presentar los datos de forma clara.

Las matrices de comparación

Los datos cualitativos, tales como las respuestas a entrevistas u observaciones, serán ordenados según matrices en la aplicación Excel. Estas matrices ayudarán a encontrar respuestas en común entre las diferentes respuestas e identificar patrones. En las matrices se habilitarán columnas de diferentes categorías temáticas, que se irán tapizando con notas y citas aportadas por los datos recogidos

Análisis de contenido temático

Se fundamentará la categorización de los datos cualitativos mediante un análisis de contenido temático manual que permita clasificar, entender e interpretar el contenido de los datos cualitativos. Se identificarán temas y patrones dentro de las transcripciones de las entrevistas y se sintetizarán las ideas principales. Este procedimiento permite una interpretación más intuitiva y directa de los datos cualitativos.

Concreción de categorías

Las categorías que emergen irán siendo definidas y concretadas a partir de una lectura sistemática iterativa sobre los datos cualitativos. Se concretarán y se seleccionarán las citas más representativas o reveladoras que aporten luz a lo que se ha encontrado, para la redacción de las conclusiones de la investigación.

Este procedimiento asegura que los datos cualitativos y los datos cuantitativos puedan ser tratados de forma que se obtengan conclusiones válidas y significativas, ofreciendo un proceso de análisis accesible y manejable.

4. Resultados

4.1 Analizar las tecnologías de construcción no convencionales disponibles en el mercado para determinar las más adecuadas a las condiciones específicas de Chiriguaná y sus requerimientos de sostenibilidad.

4.1.1 Tecnologías de construcción no convencionales

A fin de establecer, en base a las exigencias de sostenibilidad de Chiriguaná, cuáles son las tecnologías de construcción no convencionales de mayor interés, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura más actual, la cual se centró en encontrar soluciones adecuadas a las exigencias específicas de sostenibilidad que requiere la región. Esta revisión exhaustiva de la literatura se basó en la definición de varias fases o etapas importantes como la definición de criterios de búsqueda, la ejecución de la búsqueda, la recolección de datos, el análisis de la información, el registro de la información y la consolidación de resultados.

La revisión exhaustiva de la literatura permitió identificar las tecnologías de construcción no convencionales más relevantes. En concreto, se revisaron un total de 7 tecnologías no convencionales relevantes: Bloques de Suelo-Cemento, ladrillos de geopolímero con residuos de Polvo Cerámico, Construcción Modular, Steel framing con paneles de aislamiento térmico, Materiales de Construcción reciclados, Contenedores de Envío reciclados y Construcción en Tierra (Adobe, Tapial). La revisión exhaustiva de la literatura permitió identificar las ventajas e inconvenientes de las tecnologías a la hora de llevarlas a cabo, lo que permitió también conocer el grado de sostenibilidad de las tecnologías, el grado de eficiencia energética de las tecnologías

y el grado de adecuación o aplicabilidad de las tecnologías para climas cálidos como el que tiene Chiriguaná. De esta revisión exhaustiva de la literatura se obtienen los siguientes hallazgos importantes:

Tabla 2

Bloques de suelo cemento

Bloques de suelo cemento: un recurso hacia la sostenibilidad de la construcción	
Definición	Los bloques de suelo-cemento (BSC) son un avance en tecnología constructiva, un cambio de paradigma hacia la adopción de procedimientos más sostenibles y eficaces energéticamente (Gatani, 2000). Este necesario estudio profundiza a lo largo de sus propiedades intrínsecas a los BSC, hace análisis de los procesos de fabricación, contempla las dimensiones de la sostenibilidad intrínseca de este recurso y de la viabilidad económica siendo un recurso constructivo.
Composición y proceso de fabricación	Los bloques de suelo-cemento son fabricados con la mezcla de un suelo local y cemento en una proporción de 9:1, en un proceso de compactado sostenido, llevado a cabo por prensas de fabricación como son las de Cinva-Ram, permitiendo así procesos de fabricación descentralizados, introduciendo menor impacto ambiental y consumo energético que los procesos constructivos convencionales (Costantini & Francisca, 2021). La innovación en los procedimientos disminuye notablemente la emisión de gases de efecto invernadero, en comparación a los procedimientos de producción convencionales a los que ha reemplazado, actuando a su vez como la principal propuesta de mejora de la huella de CO2 en la industria de la construcción (Bedoya-Montoya, 2018).
Evaluación de Sostenibilidad	La adopción de los BSC es una práctica constructiva que está fundamentada en la sostenibilidad, valorando la proximidad de los recursos y reduciendo al máximo la generación de desperdicios (Gatani, 2000). Con estas prácticas, se da el paso de una minería intensiva a otra más benéfica, el aprovechamiento de suelos que de ser descartados se convierten en recursos constructivos (Bedoya-Montoya, 2018).
Propiedades Térmicas y Mecánicas	Siendo la calidad física y mecánica mínimas, los BSC muestran propiedades térmicas que son interesantes en la arquitectura sostenible. Su conductividad térmica reducida y su gran masa térmica permiten mejorar los niveles de aislamiento y el comportamiento térmico de las edificaciones, asegurando al mismo tiempo una disminución de la demanda energética de la calefacción y la refrigeración (Costantini & Francisca, 2021).
Viabilidad Económica	Los BSC no solo ofrecen reducción de costos en comparación con los materiales convencionales -sin menoscabo de la calidad o la sostenibilidad- sino que también presentan reducciones de costes de explotación a largo plazo, gracias a su mejor comportamiento en cuanto al aislamiento térmico (Bedoya-Montoya, 2018).

Ventajas	Sostenibilidad La baja huella ambiental de los BSC, su contribución a la economía circular y su capacidad para convertir suelos subutilizados en materiales de construcción útiles son características distintivas que los posicionan como líderes en la construcción sostenible (Gatani, 2000).	Eficiencia Energética Su contribución a la eficiencia energética va más allá de mejorar el aislamiento térmico; también se relaciona con la reducción del uso de recursos no renovables y la mitigación de la huella ecológica de las estructuras habitacionales (Costantini & Francisca, 2021)
Desventajas	Consumo de Cemento Aun cuando los BSC requieren una menor cantidad de cemento que otras soluciones, la elaboración de cemento en sí implica una intensa emisión de gases de efecto invernadero lo que plantea un reto a la hora de alcanzar el equilibrio en la sostenibilidad del material (Costantini & Francisca, 2021).	Durabilidad Relativa Los BSC son altamente sólidos, pero su durabilidad relativa puede depender de la composición del suelo y de la exposición a las condiciones más severas (Gatani, 2000); es decir, la calidad del suelo también puede ser un parámetro que influya en su longevidad, (especialmente la presencia de sales y minerales).
Observaciones finales	En general, la adopción de BSC en la construcción es un paso significativo hacia la adopción de prácticas sostenibles en la industria. Aunque existen desafíos relacionados con la producción de cemento y la durabilidad relativa, los beneficios sustanciales de los BSC en términos de eficiencia energética y sostenibilidad proporcionan un marco sólido para su adopción en la construcción moderna Bedoya-Montoya, 2018. Este enfoque proactivo no solo se ocupa de los problemas ambientales actuales, sino que también fomenta la innovación y promueve el desarrollo en el sector de la construcción sostenible (Gatani, 2000).	
<i>Nota.</i> Adecuado de (Bedoya-Montoya, 2018) y (Costantini & Francisca, 2021)		

Tabla 3*Ladrillos de Geopolímero con residuos de polvo cerámico*

Ladrillos de Geopolímero con residuos de Polvo Cerámico	
Definición	Los ladrillos de geopolímero que contienen polvo cerámico de desecho representan una innovación importante en la industria de materiales de construcción que resuelve los problemas de escasez de desechos sólidos y suelos arcillosos. Estos ladrillos se componen principalmente de materiales de aluminosilicato como cenizas volantes, escoria de alto horno, metacaolín y polvo cerámico residual. Estos componentes suelen activarse químicamente con soluciones alcalinas como silicato de sodio e hidróxido de sodio para producir materiales inorgánicos robustos y sostenibles.
Composición	La composición de los ladrillos de geopolímero con residuos de polvo cerámico se diferencia de los ladrillos tradicionales de arcilla o cemento. Los materiales primarios utilizados incluyen: Cenizas volantes: Un subproducto de la combustión del carbón en plantas de energía. Escoria de alto horno: Un residuo de la producción de hierro en altos hornos. Metacaolín: Un producto obtenido mediante la calcinación de caolín. Residuos de polvo cerámico: Desechos industriales provenientes de la fabricación de productos cerámicos Estos materiales se mezclan con soluciones activadoras alcalinas, como el silicato de sodio (Na_2SiO_3) y el hidróxido de sodio (NaOH), para formar una pasta que, al curarse, se convierte en un material sólido y duradero.
Proceso de Fabricación	El proceso de fabricación de ladrillos de geopolímero incluye varias etapas críticas: 1. Preparación de los Materiales: Los materiales aluminosilicatos y el polvo cerámico se muelen hasta obtener un polvo fino. 2. Mezcla y activación: mezcle el polvo con una solución activadora alcalina para formar una pasta homogénea. 3. Formación y curado: la pasta se moldea con la forma deseada y se cura por encima de la temperatura ambiente según especificaciones específicas. formulación. Este curado crea una reacción de geopolímero que endurece la estructura del ladrillo.

Resistencia Mecánica	Los ladrillos geopolímeros tienen una alta resistencia mecánica, lo que los hace adecuados para aplicaciones estructurales. Los estudios han demostrado que, dependiendo de su composición y proceso de endurecimiento, estos ladrillos pueden alcanzar resistencias a la compresión variables de 5 a 60 MPa (Tarek).				
Durabilidad y resistencia química	Los ladrillos de geopolímero son extremadamente duraderos y resisten la exposición a productos químicos y al fuego. Esto los hace ideales para su uso en entornos hostiles donde otros materiales pueden descomponerse muy rápido.				
Conductividad térmica	Poseen una baja conductividad térmica (0.28 W/mK), lo que contribuye a la eficiencia energética de los edificios en los que se utilizan, especialmente en climas cálidos y áridos (Tarek)				
Sostenibilidad	La producción de estos ladrillos puede incorporar materiales residuales industriales, como cenizas volantes, escoria y polvo cerámico, reduciendo la necesidad de materias primas vírgenes y disminuyendo significativamente las emisiones de CO ₂ en comparación con el cemento Portland tradicional.				
Aplicaciones	Debido a sus propiedades técnicas y sostenibles, los ladrillos de geopolímero se utilizan en diversas aplicaciones en la construcción, incluyendo muros y fachadas, Por su alta resistencia y durabilidad, y elementos prefabricados, Utilizados en la construcción modular y otras aplicaciones arquitectónicas, ofreciendo una alternativa duradera y respetuosa con el medio ambiente.				
Ventajas	Reducción de Emisiones	Uso de Materiales Reciclados	Aislamiento Térmico	Curado a Temperatura Ambiente	Resistencia al Fuego y Erosión
	Disminuyen significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero durante su producción.	Incorporan materiales residuales industriales, reduciendo la dependencia de recursos no renovable.	Baja conductividad térmica que mejora la eficiencia energética de los edificios.	El proceso de curado puede realizarse a temperatura ambiente, lo que reduce el consumo energético en comparación con los métodos tradicionales que	Adecuados para climas cálidos y condiciones ambientales extremas

		requieren altas temperaturas
Desventajas	Procesos Especializados	Inversión Inicial Elevada
	La fabricación de ladrillos de geopolímero puede ser más compleja y requerir equipos y conocimientos especializado	Aunque su eficiencia a largo plazo es alta, los costos iniciales de producción pueden ser superiores a los de los ladrillos convencionales

Nota. Adecuado de (Tarek et al., 2022)

Tabla 4

Construcción modular

	Construcción Modular
Definición	La construcción modular es un método innovador en el cual un edificio se ensambla a partir de secciones prefabricadas, conocidas como módulos, que se producen en un entorno de fábrica controlado antes de ser transportadas al sitio de construcción. Este proceso permite un mayor control de calidad, reducción de desperdicios y eficiencia en la construcción. Los módulos pueden estar hechos de diversos materiales como acero, hormigón y madera, e incluyen sistemas eléctricos, de plomería y acabados interiores preinstalados. Una vez fabricados, los módulos se transportan al sitio de construcción donde se ensamblan para formar la estructura completa, permitiendo la unión de módulos lado a lado, uno encima del otro y la integración con componentes contruidos in situ.
Fabricación de Módulos	El uso de unidades de fabricación en un entorno de fábrica controlado permite un control de calidad más estricto, una reducción de los residuos y una mayor eficiencia durante la construcción. Según un estudio de Dalalbashi et al. (2023), el método MICADO que utiliza un sistema de módulos soportados por marcos y paneles prefabricados para las paredes exteriores permite la instalación simultánea y aborda las limitaciones relacionadas con los cronogramas de construcción. La atención se centra en la construcción de estructuras sujetas a cargas sísmicas y gravitacionales.

Materiales	La selección de materiales en la construcción modular depende de los requisitos del proyecto y las preferencias de diseño. Las unidades pueden estar hechas de acero, hormigón o madera. Un análisis detallado de los elementos estructurales del sistema MICADO muestra que las secciones de acero prefabricadas de tubo, caja y en forma de L se seleccionan en función del tamaño del panel y del análisis estructural realizado. Además, se ha demostrado que el uso de acero en la construcción modular ofrece importantes ventajas en términos de resistencia y ductilidad.		
Transporte y montaje	El transporte y montaje de unidades prefabricadas es un proceso crítico que implica desafíos de logística e ingeniería. En un estudio de Lawson et al. (2005) sugirieron que los sistemas modulares se pueden transportar y ensamblar en un sitio de construcción con una precisión y velocidad que excede los métodos convencionales. El estudio también menciona el uso de dispositivos que son compatibles de forma continua o en ubicaciones específicas. Esto afecta a la transmisión de cargas verticales y a la resistencia a cargas horizontales.		
Comportamiento estructural	El análisis del comportamiento estructural de las estructuras modulares es necesario para garantizar la estabilidad y la seguridad. Un estudio de Dalalbashi et al. (2023) utilizaron un modelo numérico en SAP2000 para analizar el comportamiento lineal de estructuras MICADO bajo cargas sísmicas y gravitacionales. Los resultados demostraron que las estructuras modulares pueden soportar cargas y mantener la estabilidad incluso en condiciones sísmicas severas.		
Sostenibilidad y eficiencia	La construcción modular promueve la sostenibilidad y eficiencia energética al permitir un mayor control sobre el proceso de construcción y la capacidad de reutilizar módulos en diferentes configuraciones. Según los estudios revisados, los edificios modulares pueden ser diseñados para cumplir con altos estándares de aislamiento y eficiencia energética, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental a largo plazo.		
Ventajas	Rapidez de Construcción La construcción modular es significativamente más rápida que los métodos tradicionales, lo que puede reducir el tiempo total del proyecto. Según los estudios, el tiempo de construcción puede reducirse en un 30-50% en	Control de calidad Los módulos se fabrican en un entorno controlado de fábrica, lo que asegura una calidad consistente y reduce los errores y defectos comunes en la construcción en sitio. Este control estricto de calidad garantiza que cada módulo cumpla con los estándares	Reducción de costos La eficiencia en la producción y la reducción de tiempos de construcción pueden llevar a una disminución significativa de costos tanto en materiales como en mano de obra. Además, la reducción de desperdicios y el uso optimizado de recursos contribuyen a menores

	comparación con los métodos convencionales (Lawson)	establecidos, resultando en una estructura final más robusta y duradera.	costos operativos, haciendo la construcción modular una opción más económica a largo plazo.
Desventajas	Limitaciones de Diseño Algunas estructuras modulares pueden tener limitaciones en cuanto al diseño y la personalización, lo que puede restringir la creatividad arquitectónica en ciertos proyectos. Los módulos deben ajustarse a las especificaciones de transporte y ensamblaje.	Transporte y logística El transporte de módulos prefabricados desde la fábrica hasta el sitio de construcción puede ser costoso y logísticamente desafiante, especialmente en áreas remotas o con acceso difícil. Los módulos grandes requieren transporte especializado y pueden estar sujetos a restricciones de tráfico y permisos especiales.	Integración con el sitio La preparación del sitio y la integración de los módulos en el terreno pueden presentar desafíos. Las diferencias en las condiciones del terreno, la necesidad de ajustes en los cimientos y las conexiones de servicios públicos (como agua, electricidad y alcantarillado) pueden complicar el proceso y aumentar los costos y el tiempo necesario para la instalación completa.
Observaciones finales	La construcción modular presenta una solución innovadora a muchos de los desafíos en la industria de la construcción, ofreciendo ventajas significativas en términos de tiempo, costos y eficiencia energética. Los estudios revisados demuestran que, aunque existen desafíos técnicos y económicos, los beneficios de la construcción modular, especialmente en términos de sostenibilidad y rapidez de construcción, superan ampliamente las desventajas. La implementación de sistemas modulares avanzados, como el método MICADO, y la integración de tecnologías de construcción de acero pueden crear estructuras seguras, eficientes y efectivas. Es sostenible y adecuado para una variedad de usos.		

Nota. Adecuado de (Dalalbashi et al., 2023) y (Lawson et al., 2005)

Tabla 5*Steel Framing con paneles de aislamiento térmico*

Steel Framing con paneles de aislamiento térmico	
Definición	La estructura de acero es un sistema de construcción que utiliza perfiles de acero galvanizado o acero estructural para formar la estructura de soporte de un edificio. Esta tecnología es conocida por su ligereza, resistencia y flexibilidad y permite la construcción rápida de estructuras tanto residenciales como comerciales. El sistema consta de perfiles de acero que forman columnas, vigas y travesaños. Estos perfiles pueden ser de sección en C, de sección en Z o con forma personalizada y están diseñados para encajar con precisión y crear un marco estructural resistente. Los perfiles se fabrican con acero galvanizado, lo que proporciona una alta resistencia a la corrosión y una durabilidad considerable en una variedad de condiciones ambientales (Veljkovic & Johansson, 2006).
Fabricación y montaje	Los componentes de la estructura de acero se preprocesan en talleres especializados mediante corte y conformado de precisión según el proyecto detallado. planes. Se produce. Luego se ensamblan en la obra donde los perfiles se unen mediante tornillos, remaches o soldaduras según las especificaciones de diseño. Este proceso de prefabricación y montaje in situ reduce significativamente el tiempo de construcción y minimiza la generación de residuos. Una vez montada la estructura de acero, Después de instalar el sistema de aislamiento e insonorización, se aplica el revestimiento exterior e interior. Para el revestimiento se pueden utilizar diversos materiales, como placas de yeso para interiores, paneles de fibrocemento, madera o ladrillo para exteriores. El aislamiento suele integrarse en el espacio del perfil para mejorar la eficiencia energética de los edificios (Lawson et al., 2005).
Evaluación Experimental y Aplicabilidad en Climas Cálidos	Las estructuras de acero tienen una gran aplicabilidad en climas cálidos debido a varias características inherentes a su diseño y materiales. En climas cálidos, es importante contar con sistemas de construcción que resistan la expansión térmica y proporcionen un buen aislamiento para mantener el interior fresco. El uso de materiales como lana de roca y poliestireno expandido en sistemas de estructura de acero permite un buen aislamiento térmico, que es esencial para mantener los interiores frescos en climas cálidos y reducir la dependencia de sistemas de refrigeración artificiales (Veljkovic y Johansson, 2006)

Ventajas	Los estudios han demostrado que estas estructuras pueden soportar cargas importantes sin comprometer su integridad, gracias a la alta resistencia del acero y la eficiencia de los métodos de conexión utilizados (Veljkovic & Johansson, 2006). Además, el uso de aislamiento en las cavidades de las estructuras de acero mejora significativamente el aislamiento acústico y térmico, lo que lo hace ideal para una variedad de climas. El acero galvanizado tiene una excelente resistencia a la humedad y la corrosión, lo que lo hace ideal para climas cálidos y húmedos donde otros materiales pueden deteriorarse rápidamente. La integración eficiente de sistemas de aislamiento en estructuras de acero mejora la eficiencia energética y reduce los costos de refrigeración (Lawson et al., 2005).
Desventajas	A pesar de las numerosas ventajas del Steel Framing, también se deben considerar algunas desventajas. Una de las principales preocupaciones es la posibilidad de corrosión del acero en ciertos entornos, especialmente en áreas costeras con alta salinidad. Aunque el acero galvanizado proporciona una buena protección contra la corrosión, es posible que se requieran medidas adicionales de protección en ambientes muy agresivos. La instalación y el montaje de los sistemas de Steel Framing pueden requerir una mano de obra especializada y equipo específico, lo que puede aumentar los costos iniciales de construcción. Además el acero es un buen conductor de calor, lo que puede afectar la eficiencia energética; sin embargo, este problema se puede mitigar eficazmente mediante técnicas de aislamiento adecuadas, como el uso de paneles rígidos, aislamiento en cavidad y barreras reflexiva

Nota. Adecuado de (Veljkovic & Johansson, 2006) y (Lawson et al., 2005)

Tabla 6*Materiales de construcción reciclados*

Materiales de construcción reciclados			
Definición	El uso de materiales reciclados en la construcción ha ganado importancia debido a la creciente necesidad de prácticas sostenibles en la arquitectura, motivado por la reducción de residuos enviados a vertederos y la disminución de la demanda de recursos naturales vírgenes, con el objetivo principal de analizar y promover su uso para lograr una construcción más respetuosa con el medio ambiente; estos materiales, definidos como aquellos recuperados, reutilizados o reprocesados a partir de productos de construcción y demolición existentes o residuos industriales, provienen de una amplia gama de productos como concreto, acero, vidrio, madera, plásticos y metales (Dobón Oliver, 2018), y los procesos de reciclaje incluyen limpieza, clasificación, trituración, y a veces la fusión o re-formación, asegurando que sean seguros y eficaces para su uso en la construcción, permitiendo su aplicación en la fabricación de nuevos productos de concreto y mampostería, subbase para carreteras y paisajismo, aislamiento, paneles de pared y techos, y como agregados en la producción de concreto nuevo (Reyes, 2013).		
Materiales de Construcción Reciclados	Concreto Reciclado El concreto reciclado se produce al triturar el concreto de estructuras demolidas para utilizarlo como agregado en nuevos proyectos de construcción. Este material conserva muchas de las propiedades del concreto virgen, pero con la ventaja adicional de reducir la	Acero Reciclado El acero es uno de los materiales más reciclados en el mundo debido a su alta tasa de recuperación y su capacidad para mantener sus propiedades mecánicas a lo largo de múltiples ciclos de reciclaje (Reyes, 2013).	Vidrio Reciclado El vidrio reciclado se obtiene a partir de botellas, ventanas y otros productos de vidrio desechados. Este material puede ser reutilizado en la fabricación de nuevos

	necesidad de extracción de nuevos agregados (Dobón Oliver, 2018).	El proceso de reciclaje de acero incluye la recolección de chatarra de acero, la limpieza, la fundición y la re-formación en nuevos productos de acero. Este proceso consume significativamente menos energía que la producción de acero a partir de mineral de hierro.	productos de vidrio y como agregado en la producción de concreto (Dobón Oliver, 2018).
Ventajas	Sostenibilidad	Eficiencia Energética	Eficiencia de Costos
	El uso de materiales reciclados reduce la demanda de recursos naturales, alineándose con los principios de la construcción y el desarrollo sostenible. Este enfoque contribuye a la conservación de los recursos naturales y a la reducción de residuos (Dobón Oliver, 2018).	La producción de materiales reciclados a menudo requiere menos energía que la producción convencional. Por ejemplo, el reciclaje de aluminio utiliza solo el 5% de la energía necesaria para producir aluminio virgen (Reyes, 2013).	El uso de materiales reciclados puede ofrecer ahorros significativos en los costos de materiales y eliminación de residuos, lo que puede traducirse en una reducción general de los costos de construcción (Dobón Oliver, 2018).

Desventajas	Calidad Variable	Disponibilidad limitada	Proceso de preparación
	La calidad de los materiales reciclados puede variar, lo que puede afectar la consistencia y la seguridad de los proyectos de construcción. Es crucial realizar pruebas y asegurarse de que los materiales reciclados cumplan con los estándares requeridos.	No siempre es fácil encontrar materiales reciclados en las cantidades necesarias para un proyecto de construcción. La disponibilidad puede ser limitada dependiendo de la ubicación y la demanda local, lo que puede retrasar el proyecto o aumentar los costos.	Los materiales reciclados a menudo requieren un proceso de limpieza y preparación antes de ser reutilizados, lo que puede ser costoso y consumir tiempo. Además, es posible que se necesiten técnicas y equipos especializados para adaptarlos adecuadamente a los nuevos usos en la construcción.
Observaciones finales	El uso de materiales reciclados en la construcción ofrece numerosas ventajas en términos de sostenibilidad, eficiencia energética y reducción de costos. Sin embargo, también presenta desafíos relacionados con la disponibilidad y la calidad de los materiales. A través de una adecuada gestión y control de calidad, es posible maximizar los beneficios de estos materiales y contribuir a una construcción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. La integración de materiales reciclados es esencial para el desarrollo de una arquitectura que responda a las necesidades actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras.		

Nota. Adecuado de (Dobón Oliver, 2008)

Tabla 7*Contenedores de Envío Reciclados*

Contenedores de Envío Reciclados	
Definición	Los contenedores marítimos reciclados son una solución innovadora y sostenible en la construcción. Diseñados originalmente para el transporte marítimo y terrestre, estos contenedores encuentran una segunda vida al adaptarse a una variedad de estilos arquitectónicos. Reutilizar estos contenedores no sólo ayuda a reducir las emisiones de carbono, sino que también proporciona una alternativa rápida y rentable a la construcción de viviendas y otros tipos de edificios. Este análisis analiza más de cerca los aspectos técnicos, los procesos de adaptación, las aplicaciones, los pros y los contras del uso de contenedores marítimos reciclados en la construcción.
Estructura y composición	Los contenedores de envío están hechos principalmente de acero corrugado resistente, lo que les permite soportar condiciones duras y cargas pesadas. Esta estructura es ideal para conversiones residenciales o comerciales. Las estructuras de soporte de los contenedores están diseñadas para resistir la tensión y la corrosión, las cuales son propiedades esenciales para el transporte marítimo y también valiosas en la construcción (Buenaventura, 2020). El acero corten comúnmente utilizado en estos contenedores se protege con una capa superficial de óxido que evita la corrosión interna, pero se recomienda aplicar más capas de pintura para aumentar la durabilidad (Buenaventura, 2020)
Dimensiones estándar	Los contenedores de envío vienen en tamaños estándar, siendo los más comunes los de 20 pies (unos 6 metros de largo) y 40 pies (unos 12 metros de largo). Estas dimensiones estandarizadas facilitan su uso en bloques de construcción, haciendo más eficiente la planificación y la implementación (Buenaventura, 2020). La uniformidad dimensional garantiza un fácil montaje y apilamiento, maximizando el espacio y los recursos.
Proceso de adaptación	La transformación de contenedores de envío en estructuras habitables implica una serie de modificaciones técnicas. Primero, es crucial realizar una limpieza y desinfección exhaustiva para eliminar cualquier residuo químico o contaminante. Luego, se deben realizar cortes precisos para la instalación de ventanas y puertas, manteniendo la integridad estructural mediante refuerzos adecuados en las aberturas (Buenaventura, 2020). Además, se requiere la instalación de aislamiento térmico y acústico, sistemas eléctricos y de plomería, y revestimientos interiores y exteriores para asegurar la habitabilidad y confort de los espacios (Buenaventura, 2020).

Ventajas	Reutilización Contribuyen a la reutilización de contenedores, reduciendo residuos y aprovechando estructuras existentes.	Durabilidad La durabilidad de los contenedores, derivada de su construcción robusta, garantiza que las estructuras resultantes sean resistentes y duraderas. Esta característica es especialmente valiosa en zonas propensas a condiciones climáticas adversas (Buenaventura, 2020)	Eficiencia Energética Las construcciones con contenedores pueden diseñarse para ser energéticamente eficientes. El uso de materiales aislantes adecuados y sistemas de ventilación pasiva puede reducir significativamente el consumo de energía para calefacción y refrigeración (Buenaventura, 2020).
Desventajas	Problemas de Oxidación El acero corten se protege de la corrosión, pero la exposición constante a la humedad puede acelerar el proceso de oxidación y debilitar la estructura de la vasija (Buenaventura, 2020). Por lo tanto, es necesario tomar medidas adicionales para prevenir la oxidación, especialmente en climas húmedos.	Limitaciones en el Diseño La estructura rígida y las dimensiones fijas de los contenedores pueden limitar la flexibilidad en el diseño arquitectónico. Las modificaciones necesarias, como la creación de aberturas para puertas y ventanas, pueden requerir refuerzo adicional, lo que aumenta los costos y el tiempo de construcción (Buenaventura, 2020).	Aislamiento Térmico La alta conductividad térmica puede causar problemas de aislamiento. Sin un aislamiento adecuado, las estructuras pueden ser muy frías en invierno y muy calurosas en verano. Es importante utilizar aislamiento de alta calidad para garantizar la estabilidad térmica (Buenaventura, 2020).
Observaciones finales	La reutilización de contenedores marítimos en la industria de la construcción es una práctica que combina sostenibilidad, eficiencia y economía. Aunque existen desafíos técnicos y de diseño, los beneficios en términos de durabilidad y reducción de desechos son innegables. Con el proceso de modernización adecuado y un diseño cuidadoso, los contenedores de envío reciclados pueden proporcionar soluciones de vivienda innovadoras y sostenibles. La estandarización de dimensiones y la robustez de la estructura la		

hacen especialmente adecuada para construir unidades ampliables y adaptadas a las necesidades específicas del entorno y de los usuarios. La exploración y optimización continua de estos métodos aumentará aún más su uso y aceptación en las arquitecturas modernas.

Nota. Adecuado de (Conta Escobar, 2019) y (Buenaventura Cundumi, 2021)

Tabla 8

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)			
Definición	La construcción sostenible es un tema de creciente importancia en el contexto actual de crisis ambiental. La utilización de materiales tradicionales como el adobe y el tapial ofrece soluciones arquitectónicas viables y contribuye a la reducción de impactos negativos en el medio ambiente. En este documento se profundiza en los aspectos técnicos, composición, fabricación, y propiedades de estos materiales, así como en sus ventajas y desventajas.		
Adobe	Composición El adobe es un material de construcción compuesto principalmente por tierra, agua y, en algunos casos, materiales adicionales como paja o fibras naturales para mejorar su cohesión y resistencia. La composición típica del suelo utilizado para hacer adobe incluye un 55% a 75% de arena, un 10% a 28% de limo y un 15% a 18% de arcilla (Bedoya, 2011).	Fabricación El proceso de fabricación del adobe es relativamente sencillo y de bajo impacto ambiental. Se mezcla la tierra con agua hasta obtener una pasta homogénea, que luego se moldea en bloques utilizando moldes de madera. Estos bloques se dejan secar al sol durante varios días, evitando el uso de hornos y, por tanto, la emisión de gases contaminantes. El secado al aire libre puede tardar entre tres a cinco días, dependiendo de las	Propiedades y aspectos técnicos El adobe presenta buenas propiedades térmicas y acústicas, lo que lo convierte en un excelente material para climas cálidos y fríos. Su inercia térmica permite mantener una temperatura interior estable, reduciendo la necesidad de sistemas de calefacción o refrigeración. Además, es un material biodegradable y reciclable, lo que minimiza su impacto ambiental al final de su vida útil (Bedoya, 2011).

		condiciones climáticas (Bedoya, 2011).	Desde un punto de vista técnico, el adobe puede ser reforzado con fibras naturales para aumentar su resistencia a la tracción y compresión. En términos estructurales, las construcciones de adobe deben diseñarse para soportar cargas verticales y, en zonas sísmicas, deben incluir refuerzos adicionales como marcos de madera o metal para mejorar su comportamiento ante terremotos (Bedoya, 2011)
Tapial	Composición El tapial, también conocido como tierra apisonada, se compone de tierra compactada entre encofrados de madera. La tierra utilizada debe tener una buena mezcla de grava, arena, limo y arcilla para asegurar una adecuada cohesión y resistencia. A menudo se añade cal o cemento en pequeñas cantidades para mejorar sus propiedades mecánicas y durabilidad (Bedoya, 2011).	Fabricación La fabricación del tapial implica la compactación de capas sucesivas de tierra dentro de encofrados de madera. Cada capa, de aproximadamente 10 a 15 cm de espesor, se compacta manualmente o con herramientas mecánicas hasta alcanzar la densidad y resistencia deseadas. Este proceso se repite hasta completar la altura del muro (Bedoya, 2011).	Propiedades y aspectos técnicos El tapial es conocido por su alta inercia térmica y capacidad de regular la humedad, lo que contribuye a un ambiente interior confortable. Sus muros gruesos ofrecen una excelente protección contra el calor y el frío, haciendo innecesario el uso intensivo de sistemas de climatización.

Ventajas

La construcción civil ofrece muchos beneficios importantes, incluida la sostenibilidad ambiental, ya que reduce la necesidad de materiales industrializados y promueve prácticas de construcción más respetuosas con el medio ambiente al reducir las emisiones de dióxido de carbono. Además, materiales como el adobe y la tierra apisonada proporcionan un excelente aislamiento térmico y absorción acústica, mejorando la eficiencia energética de las edificaciones y creando un ambiente interior confortable y saludable. La disponibilidad y el bajo costo de la tierra como recurso la convierte en una opción accesible para muchas comunidades, especialmente en áreas rurales donde se puede utilizar mano de obra local para la construcción. Las propiedades naturales del suelo regulan la humedad interior y mejoran la calidad del aire, contribuyendo a un ambiente de vida más saludable (Bedoya, 2011).

Desventajas

Sin embargo, la construcción sobre el suelo también tiene algunas desventajas importantes. La resistencia estructural de los materiales geológicos puede ser menor que la de los materiales modernos como el hormigón o el acero, lo que requiere un refuerzo adecuado para asegurar la estabilidad de las edificaciones, especialmente en zonas sísmicas. Las estructuras de tierra también pueden requerir un mantenimiento más frecuente para protegerlas contra la intemperie y la humedad, lo que puede aumentar el costo y el esfuerzo necesarios para mantenerlas en buenas condiciones, especialmente en climas húmedos. Las tecnologías de construcción civil pueden imponer ciertas restricciones en el diseño de edificios, especialmente cuando se construyen edificios de gran altura o estructuras con formas complejas. Finalmente, a pesar de sus muchas ventajas, la arquitectura de tierra puede verse como menos moderna o prestigiosa, lo que puede limitar su adopción en ciertos entornos urbanos (Bedoya, 2011).

**Observaciones
finales**

Construcción sostenible utilizando materiales como: La construcción con adobe y tierra ofrece una alternativa viable y ambientalmente responsable a los métodos de construcción tradicionales. El uso adecuado de estos materiales tradicionales puede proporcionar soluciones efectivas tanto para zonas rurales como urbanas. Sin embargo, para maximizar los beneficios y garantizar la durabilidad y la seguridad, se deben abordar las limitaciones mediante un diseño y refuerzo innovadores.

Nota. Adecuado de (Bedoya, 2011)

Análisis comparativo y conclusiones de la revisión de literatura

Una revisión integral de tecnologías de construcción alternativas resalta la diversidad de opciones disponibles para abordar los problemas de sostenibilidad en Chiriguaná. Cada tecnología tiene ventajas y desventajas específicas, y la elección adecuada está influenciada por factores como la disponibilidad de materiales, las condiciones climáticas locales y los objetivos de sostenibilidad. La velocidad de construcción, la eficiencia energética y la adaptabilidad a climas cálidos son claves en esta área.

Bloques de tierra-cemento, ladrillos de geopolímero, construcción modular, marcos de acero con paneles aislados, construcción a partir de materiales reciclados, contenedores de envío reciclados y construcción en tierra. La misma tecnología proporciona una visión completa de las opciones disponibles. Cada una de estas tecnologías tiene el potencial de contribuir significativamente a la construcción sostenible en Chiriguaná, y su aplicabilidad depende de una planificación cuidadosa y la consideración de los factores locales.

Esta revisión de la literatura no solo proporciona una descripción detallada de las tecnologías en sí. También destaca la importancia fundamental de una planificación cuidadosa y una toma de decisiones informada en proyectos de construcción sostenible. Una consideración cuidadosa de estos factores no solo maximizará la eficiencia de la tecnología seleccionada, sino que también garantizará que el proyecto contribuya efectivamente a la sostenibilidad ambiental, social y económica de la región.

Se presenta en la siguiente tabla , una comparación de las técnicas de construcción no convencionales, exaltando las ventajas y desventajas:

Tabla 9*Revisión y comparación de la literatura*

Técnica de Construcción	Ventajas	Desventajas
Bloques de Suelo Cemento	Sostenibilidad, Alta eficiencia energética. Uso de suelo local reduce el impacto ambiental. viabilidad económica	Consumo de cemento con alta emisión de CO ₂ . Durabilidad puede verse afectada por condiciones ambientales extremas.
Ladrillos de Geo-polímero	Reducción significativa de emisiones de CO ₂ . Uso de materiales reciclados industriales. Aislamiento térmico. Durabilidad	Procesos especializados y costos iniciales elevados.
Construcción Modular	Rapidez de construcción y control de calidad en fábrica. Reducción de residuos y desechos.	Limitaciones en diseño arquitectónico. Transporte y logística compleja.
Steel Framing con paneles de aislamiento térmico	Alta durabilidad y resistencia. Ligereza y facilidad de manejo, fácil integración con técnicas de aislamiento térmico.	Posibilidad de corrosión. Necesidad de mano de obra especializada y equipo específico. Necesidad de aislamiento térmico adicional.
Materiales de Construcción Reciclados	Sostenibilidad, Reducción de residuos. Eficiencia energética en producción. Eficiencia de costos.	Calidad variable de los materiales reciclados. Disponibilidad limitada, complejidad en el acondicionamiento.
Contenedores de Envío Reciclados	Reutilización de estructuras existentes. Durabilidad y resistencia estructural. Rápida instalación.	Problemas de oxidación. Limitaciones en el diseño arquitectónico. conductividad térmica alta
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	Excelente aislamiento térmico y acústico. Bajo costo y disponibilidad de materiales locales. Sostenibilidad.	Resistencia estructural. Vulnerabilidad en la humedad. Disponibilidad y calidad del material. Percepción negativa.

4.1.2 Entrevistas con expertos en construcción sostenible

En el contexto de la evaluación de la viabilidad de tecnologías de construcción alternativas para viviendas sostenibles en Chiriguana, es importante integrar las perspectivas de expertos en el campo de la arquitectura sostenible. Las entrevistas con estos expertos tienen como objetivo recopilar información detallada y práctica sobre la utilidad, ventajas y desafíos de diferentes tecnologías en entornos específicos como Chiriguana. Este enfoque metodológico no sólo permite una comprensión más profunda de las tecnologías disponibles, sino que también permite analizar aspectos importantes como la adaptabilidad climática, la sostenibilidad económica y la aceptación social. A través de estas entrevistas se busca obtener recomendaciones técnicas y métodos especiales que promuevan la implementación exitosa de soluciones constructivas sustentables y contribuyan al desarrollo de viviendas eficientes y amigables con el medio ambiente en la región.

Selección de expertos:

Se seleccionaron tres expertos con amplia y reconocida experiencia en construcción sostenible y el uso de tecnologías no convencionales. La selección de estos expertos se justificó por su trayectoria profesional y por su enfoque en la aplicación de estas tecnologías en distintos contextos geográficos y climáticos. El número reducido de expertos obedece a la necesidad de contar con especialistas cuyas áreas de trabajo estuvieran directamente relacionadas con el propósito del estudio, garantizando una visión integral y especializada. A continuación, se detalla el perfil de cada uno de los expertos seleccionados:

Experto 1: director de Operaciones Estratégicas de Circular LAB, con veinte años de experiencia en construcción sostenible. Su enfoque abarca la implementación de tecnologías eficientes y sostenibles en climas cálidos y secos.

Experto 2: Instructor de construcción del SENA en la Regional Norte de Santander, con una década de experiencia en el uso de guadua, caña brava y técnicas de construcción con materiales no convencionales.

Experto 3: Ingeniero Civil especializado en construcción con tierra y fundador de "De la Tierra Casa Taller" en Barichara, Santander. Con más de veinte años de experiencia, su trabajo se centra en proyectos de arquitectura bioclimática y la preservación de técnicas tradicionales de construcción con tierra.

Procedimiento

En total, se realizaron tres entrevistas, una con cada experto seleccionado, las entrevistas se llevaron a cabo de manera presencial, garantizando un ambiente propicio para la interacción directa y el intercambio de ideas en profundidad. Cada entrevista tuvo una duración promedio de 15 a 25 minutos, asegurando suficiente tiempo para cubrir todos los temas importantes sin sobrecargar a los entrevistados.

Temas clave tratados en la entrevista

Viabilidad de tecnologías alternativas y sus beneficios

Experto 1, director de Operaciones Estratégicas de Circular LAB, señaló que las tecnologías de construcción deben adaptarse a las condiciones climáticas de Chiriguaná. Debido al clima cálido y seco. Enfatizó que lograr una construcción sustentable en este sector requiere implementar soluciones que maximicen la eficiencia térmica sin depender de sistemas de ventilación que consuman energía. Entre sus recomendaciones, Orejuela destacó el diseño de viviendas con grandes ventanales para facilitar la ventilación natural. Este método no sólo mejora el confort térmico al permitir un flujo de aire constante, sino que también reduce la dependencia de la ventilación y los ventiladores mecánicos. También sugirió que la integración de paneles solares para aprovechar la alta radiación solar de la zona podría reducir significativamente los costos de energía en el largo plazo. Orejuela también recomendó el uso de equipos de refrigeración energéticamente eficientes que cumplan con la normativa técnica de etiquetado del RETIQ de Colombia. Esto asegura un uso más racional y económico de la energía.

Experto 2, docente del SENA y experto en materiales alternativos, enfatizó la importancia de utilizar materiales locales para promover la sostenibilidad y reducir los costos de construcción. Su experiencia demuestra que materiales como la caña brava y la guadua ofrecen excelentes propiedades estructurales y de sostenibilidad. Estos materiales, de rápido crecimiento y ampliamente disponibles en la región, son ideales para la construcción sostenible. Hurtado también destacó el uso de bloques de tierra-cemento (BTC), que combinan tierra local con una pequeña cantidad de cemento para crear un bloque de construcción fuerte y duradero. Esta

tecnología no sólo utiliza recursos locales, sino que también mejora el aislamiento de las viviendas, haciéndolas más frescas incluso en climas cálidos. Hurtado también señaló que el uso de materiales naturales y locales podría aumentar la aceptación de esta tecnología, siempre y cuando los residentes locales estén adecuadamente educados sobre sus beneficios y se involucren en el proceso de construcción.

Experto 3, Ingeniero civil especializado en construcciones con tierra, destacó la efectividad del bahareque en climas cálidos como el de Chiriguaná. Bahareque, una técnica tradicional que consiste en rellenar estructuras de madera con tierra y otros materiales, ha demostrado ser muy eficaz en términos de regulación de la temperatura. Rivero destacó que, cuando se implementa correctamente, esta tecnología puede ofrecer un excelente rendimiento térmico y es especialmente adecuada para zonas con altos índices de calor. Sin embargo, uno de los principales desafíos que identificó Rivero es que muchas comunidades tienen actitudes negativas hacia el bahareque, asociándolo con la pobreza y las construcciones de baja calidad. Para cambiar esta percepción,

El experto 3 recomendó presentar ejemplos de arquitectura moderna que utilicen el bahareque de forma estética y funcional. Estos proyectos deben ser visibles y accesibles para la comunidad y demostrar que bahareque puede ser una opción viable y atractiva para la construcción moderna y sostenible.

Desafíos, obstáculos y recomendaciones

Orejuela señaló que uno de los desafíos clave para la adopción es un sello distintivo de las tecnologías sostenibles es el alto costo inicial de algunas de estas tecnologías. También enfatizó la importancia de educar a las comunidades sobre los beneficios a largo plazo, ya que la falta de conocimiento puede ser una barrera grave para la implementación. Para impulsar la adopción de esta tecnología en regiones como Chiriguaná, Orejuela propuso la implementación de políticas públicas que incluyan subsidios, incentivos fiscales y programas especiales de financiamiento para proyectos de construcción sustentable. Asimismo, recomendó educar tanto a los constructores como a los usuarios sobre los beneficios económicos y ambientales de estas tecnologías para fomentar su adopción a mayor escala.

Hurtado señaló que la resistencia cultural a los materiales no tradicionales es uno de los desafíos clave. Muchas comunidades consideran que ingredientes como la caña brava y la guadua son de baja calidad. Para superar estas barreras, es importante realizar proyectos de socialización y educación que demuestren los beneficios y durabilidad de estos materiales. Hurtado propuso un proyecto de socialización a través de ejemplos del mundo real que demuestran la viabilidad y los beneficios de las tecnologías sostenibles. La educación comunitaria sobre el uso de materiales locales y técnicas de construcción sostenible es esencial para garantizar la aceptación y el éxito. También recomendó establecer alianzas con instituciones educativas y organizaciones no gubernamentales para apoyar la implementación de esta tecnología en Chiriguana.

Ribero enfatizó la importancia de realizar proyectos demostrativos para cambiar las percepciones negativas sobre materiales como el bahareque. Crear un caso llamativo y estéticamente atractivo puede ayudar a demostrar que estos métodos son rentables y útiles. También es necesario involucrar a las comunidades locales en el proceso de construcción para que puedan experimentar directamente los beneficios de las tecnologías de construcción sostenible. La capacitación y las demostraciones prácticas son importantes para superar las barreras culturales. Rivero recomendó realizar ejercicios piloto bien contruidos, visibles y accesibles a la comunidad para que los residentes puedan ver de primera mano los beneficios de estos métodos. También propuso asociaciones con partes públicas y privadas para financiar y apoyar estos proyectos piloto.

Análisis y hallazgos de la entrevista

Los expertos coincidieron en que las técnicas de construcción deben adaptarse a las condiciones locales en Chiriguana y culturales. Enfatiza la importancia de cambiar las percepciones. Hacia un camino no convencional. ingrediente. Destacan que se necesitan proyectos de demostración y programas de formación para demostrar los beneficios de esta tecnología y superar las barreras culturales. La introducción de ingredientes locales como caña brava, guadua y bahareque es una solución viable y sostenible siempre y cuando se considere acompañada de educación integral y estrategias demostrativas prácticas que involucren a la comunidad. La participación activa de la comunidad y la demostración de los beneficios funcionales y estéticos de estos materiales son esenciales para superar las percepciones negativas y lograr una implementación exitosa.

Las entrevistas y la literatura revisada destacan la viabilidad de tecnologías sostenibles como bahareque, bloques de cemento de suelo (BSC) y el uso de materiales locales de Chiriguaná. Se recomienda implementar políticas públicas que fomenten la construcción sustentable, como subsidios, incentivos fiscales y programas de financiamiento para proyectos que utilicen esta tecnología. Es importante realizar proyectos piloto para demostrar la viabilidad y los beneficios en situaciones del mundo real, así como educar a las comunidades sobre el uso de materiales alternativos y tecnologías sostenibles para garantizar la aceptación y el éxito a largo plazo. Las investigaciones futuras también deberían analizar los costos y beneficios a largo plazo de estas tecnologías y evaluar su impacto en la calidad de vida de la población, lo que proporcionará datos valiosos para la toma de decisiones y la elaboración de políticas.

4.1.3 Evaluación de estudios de caso relevantes

En el desarrollo de esta actividad, se procede a realizar una selección rigurosa y evaluación detallada de cinco estudios de caso con una marcada relevancia para la investigación. Estos estudios abarcan proyectos de construcción sostenible en entornos de climas cálidos, específicamente aquellos que implementan tecnologías no convencionales. La aplicación de criterios específicos fue fundamental en este proceso, considerando la similitud climática, condiciones geográficas y requisitos socioeconómicos para garantizar la pertinencia de los estudios de caso seleccionados. La evaluación se lleva a cabo a través de criterios meticulosamente desarrollados, los cuales se centran en la sostenibilidad y la adaptabilidad local. Se presta especial atención a aspectos cruciales, como la eficiencia energética, la utilización de materiales locales y la aceptación comunitaria. Entre los hallazgos principales, se destaca la

identificación de aquellas tecnologías que han demostrado ser exitosas en contextos similares a Chiriguaná. Además, se realiza un análisis minucioso de las lecciones aprendidas y de los posibles desafíos asociados a la implementación de estas tecnologías. La integración de estos resultados con la investigación general fortalece directamente las recomendaciones y estrategias propuestas, fundamentando cada sugerencia en la evidencia sólida extraída de los estudios de caso evaluados.

Identificación y análisis de aplicación de sostenibilidad y tecnologías exitosas en contextos similares a Chiriguaná

Se identifican y analizan cinco estudios de caso relevantes:

Estudio de Caso 1: Improving sustainability of affordable housing using innovative technologies: Case study of SIAH-Livable.

Ante la urgencia de la sostenibilidad, la industria de la construcción está explorando tecnologías y métodos innovadores para desarrollar viviendas ecológicas asequibles, especialmente en áreas en desarrollo afectadas por una rápida urbanización y problemas sociales y ambientales. El proyecto SIAH-Livable en Sudáfrica es un ejemplo clave del uso exitoso de tecnologías alternativas para la vivienda sostenible. Este caso destaca cómo la implementación de diseños innovadores y materiales reciclados puede reducir los costos y el uso de recursos y, al mismo tiempo, hacer que las viviendas sean económica y socialmente inclusivas. El análisis del proyecto proporciona un modelo aplicable a otras situaciones similares, como Chiriguaná, para

promover viviendas sostenibles asequibles y rentables a nivel local, a continuación, en la figura 1 se puede evidenciar lo sustentando.

Figura 1

SIAH-Livable phases.



Nota. (Moghayedi et al., 2023)

Descripción del sitio, clima y condiciones similares a Chiriguaná: Similar a las condiciones climáticas, SIAH-Livable está ubicado en un ambiente sudafricano caracterizado por un clima diverso desde costero hasta árido y semiárido. Descubierta, detenido en Chiriguaná Estos entornos presentan desafíos únicos para el desarrollo de viviendas sostenibles, incluida la necesidad de adaptarse a temperaturas extremas y escasez de recursos como el agua. En particular, el clima de Sudáfrica, donde se implementa SIAH-Livable, comparte similitudes con Chiriguaná en términos de la necesidad de soluciones habitacionales que puedan soportar

condiciones de calor extremo y períodos de sequía, lo que hace que las estrategias de diseño sustentable y el uso eficiente de los recursos sean esenciales para el largo plazo. seguridad. Edificabilidad y sostenibilidad.

Tecnologías aplicadas: Los proyectos SIAH-Livable se caracterizan por la integración de tecnologías innovadoras y materiales sostenibles, con especial enfoque en maximizar el uso de energía y agua. Uso de sistemas de energía solar para energía solar, sistemas de recolección y reciclaje de agua de lluvia; Materiales de construcción locales y reciclados que reflejan esfuerzos para reducir la huella ambiental y mejorar la eficiencia energética. El diseño neutro es una estrategia clave que aprovecha al máximo la luz natural y la ventilación natural, lo que contribuye a reducir el consumo de energía.

Entre las soluciones específicas utilizadas en SIAH-Livable, destacan las siguientes:

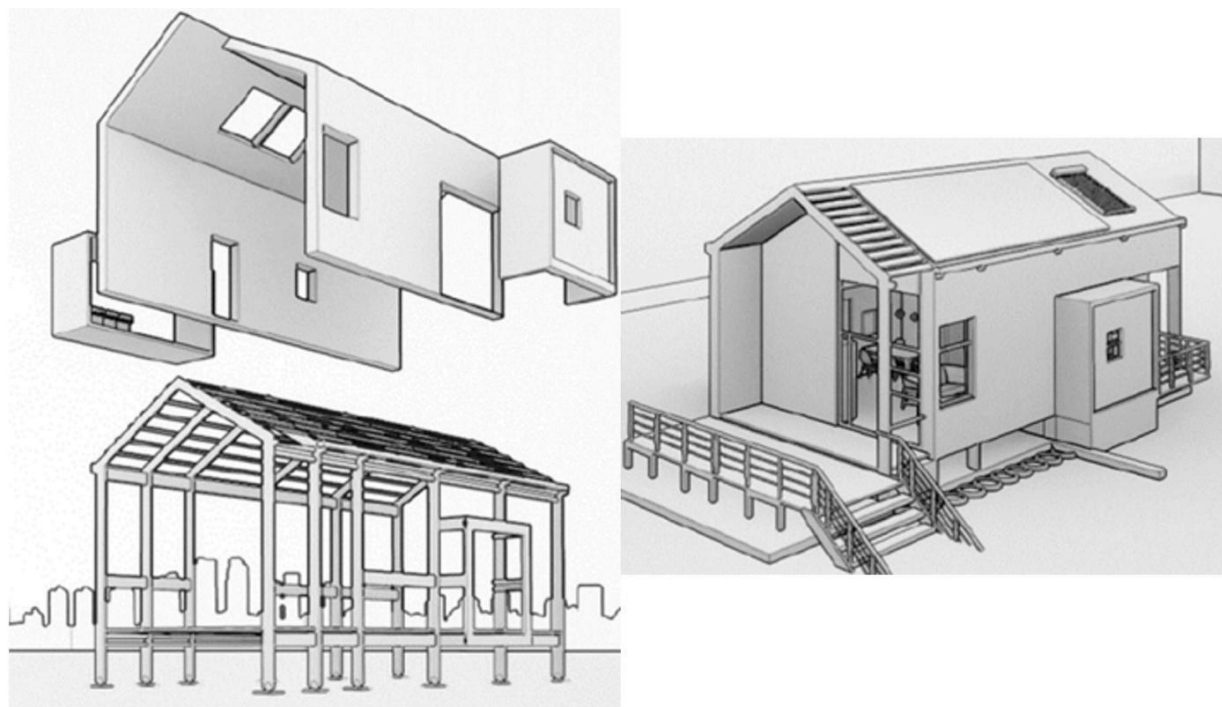
Externo capa: Se introdujo en la fachada exterior un sistema de revestimiento prefabricado de madera fijado sobre lamas de madera y con la adición de aislamiento ecológico ignífugo, mejorando las prestaciones tanto estéticas como térmicas. del edificio.

Marco. Estructura: El uso de estructuras de acero reciclado del proceso de demolición enfatiza la sostenibilidad del proyecto, apoya la economía circular y minimiza el desperdicio de materiales. Las juntas de madera utilizadas en las conexiones resaltan el uso de materiales compuestos innovadores para una construcción sostenible y robusta.

Forma compuesta: el edificio está anclado sobre una base de hormigón a 500 mm del suelo y utiliza cartón corrugado IBR para el techo. ,Está sujeto a la correa. El edificio no sólo protege contra inundaciones y mejora la ventilación, sino que también aumenta la eficiencia de la gestión de aguas pluviales.

La secuencia de montaje del proyecto comienza con el marco estructural, continúa con el techo y la fachada exterior, y termina con los tabiques internos que definen el espacio como se observa en la figura 2. Este proceso de construcción no solo garantiza eficiencia y precisión, sino que también garantiza que cada componente contribuya a la sostenibilidad general de la casa.

La implementación consciente de estas tecnologías y metodologías en SIAH-Livable reduce el consumo de recursos y mejora la eficiencia energética. Podemos satisfacer sus necesidades. También refleja el profundo compromiso de la industria de la construcción con la innovación. Estas prácticas no sólo son relevantes sino potencialmente útiles para la situación en César Chiriguana, prometiendo un camino hacia viviendas más sostenibles dependiendo de las condiciones locales y las circunstancias sociales.

Figura 2*Detalles de la estructura**Nota.* (Moghayedi et al., 2023)

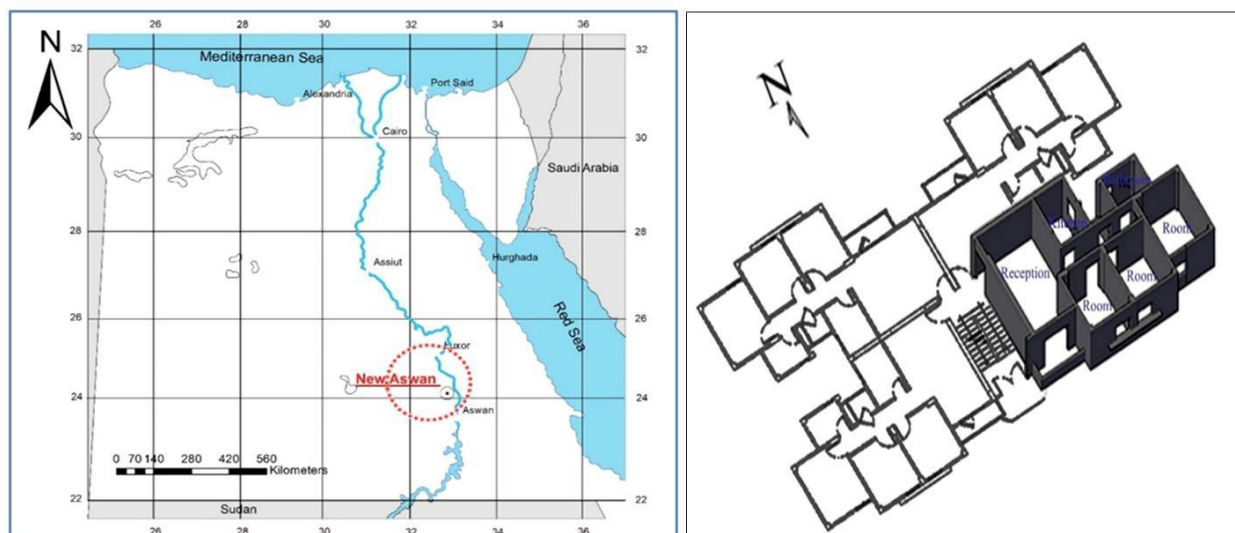
Lecciones aprendidas y hallazgos clave del estudio de caso SIAH-Livable con datos relevantes: El estudio de caso SIAH-Livable demuestra la eficacia del diseño integral y sostenible de viviendas que aborda factores ambientales, sociales y económicos. Este proyecto logró reducciones significativas en el consumo de agua y energía del 55,17% y 21,06%, respectivamente, y una reducción del 66,9% en la energía incorporada en los materiales, manteniendo los costos dentro de límites manejables. Estos resultados resaltan la viabilidad de implementar tecnologías de vanguardia y prácticas de diseño sustentable en Chiriguaná, Cesar, adaptadas a las condiciones y tradiciones arquitectónicas locales. La participación comunitaria en el diseño y la construcción garantiza viviendas ambientalmente sostenibles y socialmente inclusivas. Este enfoque no sólo mejora la eficiencia energética y la conservación del agua, sino

que también mejora la calidad de vida y promueve la cohesión social, proporcionando un modelo adecuado para futuros proyectos de vivienda sostenible en la región.

Estudio de Caso 2: Building Envelope Optimization Using Geopolymer Bricks to Improve the Energy Efficiency of Residential Buildings in Hot Arid Regions.

La industria de la construcción es responsable de una porción considerable del consumo energético global y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Con más del 40% del consumo total de energía y hasta el 33% de las emisiones globales de GEI, el sector de la construcción enfrenta desafíos significativos. La rápida urbanización y el crecimiento exponencial de la población aumentan la demanda de viviendas, proyectando un incremento del 60% para 2030, lo que genera una presión adicional sobre los recursos naturales.

En este contexto, la optimización del uso de materiales de construcción, como los ladrillos geopoliméricos fabricados a partir de desechos industriales, se presenta como una solución viable para reducir la energía incorporada y mejorar la eficiencia energética de los edificios residenciales. Este estudio de caso se centra en la ciudad de Nueva Asuán, Egipto, donde se emplearon ladrillos geopoliméricos en edificios residenciales sociales para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de dióxido de carbono como se observa en la figura 3.

Figura 3*Estudio de caso Ladrillos de geo polímero en regiones áridas**Nota.* (Tarek et al., 2022)

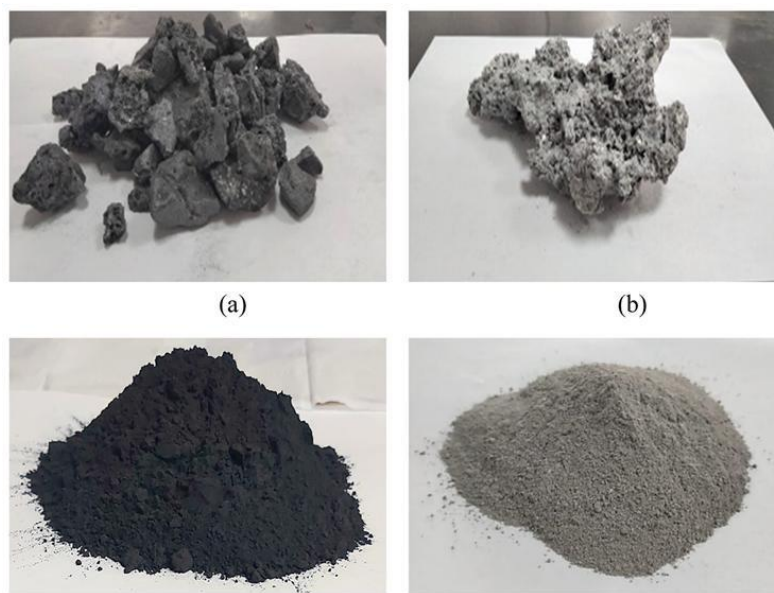
Descripción del lugar, clima y condiciones similares a Chiriguaná: Nueva Asuán se ubica en una región desértica caliente, caracterizada por temperaturas extremas que pueden superar los 45 °C en verano y una humedad relativa que puede descender por debajo del 12%. Estas condiciones climáticas son similares a las de Chiriguaná, Cesar, donde también se requiere la implementación de soluciones de vivienda que puedan soportar temperaturas elevadas y periodos de sequía prolongados. La adaptación de tecnologías de construcción sostenible en este contexto es crucial para garantizar la habitabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

Tecnología aplicada: El proyecto en Nueva Asuán se caracteriza por la fabricación de ladrillos geopoliméricos a partir de residuos industriales como escoria de ferrosilicio y aluminio (ver figura 4). Estos ladrillos presentan propiedades físicas y mecánicas que cumplen con numerosos códigos y estándares, además de una conductividad térmica significativamente inferior a la de los ladrillos convencionales (0.28 W/mK). El uso de software de simulación,

como Design Builder, permitió evaluar la eficiencia energética de los ladrillos fabricados, demostrando ahorros de energía de hasta el 14.90% y una reducción en las emisiones de CO₂ de hasta el 7.67%.

Figura 4

Esquema de la producción de ladrillos geopoliméricos termoaislantes a partir de residuos industriales.



Nota. (Ahmed et al., 2022)

Detalles específicos de la tecnología aplicada:

Proceso de Fabricación: Los ladrillos se fabricaron utilizando escoria de ferrosilicio y aluminio, activados con soluciones de hidróxido de sodio y silicato de sodio. El proceso incluyó la molienda de las materias primas, la mezcla con la solución alcalina y el curado a temperatura ambiente.

Propiedades Mecánicas: Los ladrillos geopoliméricos mostraron una resistencia a la compresión que aumentó con el tiempo de curado, alcanzando valores de hasta 10.9 MPa a los 28 días.

Propiedades Térmicas: La baja conductividad térmica de los ladrillos (0.28 W/mK) y su alta capacidad específica (1142.68 J/kg·K) contribuyeron a una mayor eficiencia energética de los edificios.

Eficiencia Energética: La implementación de estos ladrillos en los muros exteriores de los edificios residenciales redujo significativamente la demanda de energía para enfriamiento, especialmente durante los meses más calurosos, logrando una reducción del consumo energético de hasta el 14.9%.

Lecciones aprendidas y principales conclusiones del estudio de caso:

Sostenibilidad Ambiental: el uso de ladrillos geopoliméricos fabricados a partir de desechos industriales no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a la reducción de residuos y la conservación de recursos naturales.

Viabilidad económica: a pesar de los costos iniciales más altos, los ahorros energéticos logrados a lo largo del tiempo compensan la inversión, con un periodo de retorno de inversión (SPP) de 8.76 años para los ladrillos más eficientes.

Aplicabilidad en Chiriguaná: las lecciones aprendidas de este proyecto pueden ser adaptadas y aplicadas en Chiriguaná, considerando las condiciones climáticas y los recursos locales. La adopción de ladrillos geopoliméricos y otras tecnologías de construcción sostenible puede mejorar la calidad de vida de los residentes y contribuir al desarrollo sostenible de la región.

Estudio de Caso 3: Enhancing the Sustainability of Shipping Container Homes in a Hot Arid Region: A Case Study of Aswan in Egypt.

El cambio climático ha generado serias preocupaciones sobre nuestro futuro y el legado que dejaremos a las futuras generaciones. Entre las causas más graves del cambio climático se encuentra el consumo de energía, que tiene un impacto dramático en nuestro medio ambiente debido a las altas tasas de emisiones de carbono. La mayor parte del consumo de energía se utiliza para mejorar las condiciones climáticas exteriores en los interiores, por lo que existe una necesidad urgente de encontrar formas innovadoras de lograr el confort térmico de manera natural.

En Egipto, más del 90% de la electricidad generada proviene del petróleo y el gas natural, y la tasa de crecimiento poblacional estimada es del 1.3% anual, lo que aumenta la demanda y eventualmente agotará los principales recursos del país. En este contexto, mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética de las viviendas construidas con contenedores de transporte se vuelve crucial. Este estudio de caso se centra en una vivienda de contenedores de transporte

en Asuán, Egipto, y explora estrategias para hacer estas viviendas más sostenibles en un clima árido y caliente

Descripción del lugar, clima y condiciones similares a Chiriguaná: Asuán, situada al sur de Egipto, tiene un clima muy caliente y seco durante el verano y frío en invierno. Las temperaturas más altas y más bajas registradas son 47°C y 3°C, respectivamente. Entre abril y octubre, todas las temperaturas medias registradas superan la zona de confort. Estas condiciones son similares a las de Chiriguaná, Cesar, donde se requiere la implementación de soluciones habitacionales que puedan soportar temperaturas elevadas y periodos prolongados de sequía.

Tecnología aplicada: El proyecto implementó tres estrategias principales para mejorar la sostenibilidad de las viviendas de contenedores de transporte:

Diseño de un patio: Actuando como una forma de enfriamiento pasivo, el patio mejoró la ventilación natural.

Techos y paredes verdes: Estos actuaron como una capa de aislamiento para la envolvente del contenedor, reduciendo significativamente el consumo de energía.

Reemplazo del acristalamiento simple por doble acristalamiento: Mejora de la eficiencia térmica y reducción del consumo energético.

Además, se instalaron paneles fotovoltaicos (PV) para proporcionar energía limpia a los usuarios de los contenedores.

Detalles específicos de la tecnología aplicada:

Patio para enfriamiento pasivo: Mejora la ventilación natural y reduce el consumo de energía en un 3.6%.

Techos y paredes verdes: Reducen el consumo de energía en un 13.5% al actuar como aislamiento térmico.

Doble acristalamiento: Mejora la eficiencia energética al reducir la carga de enfriamiento en un 11.5%.

Paneles fotovoltaicos: Generan 12.32 MWh de energía limpia anualmente, ayudando a desconectar las viviendas de la red eléctrica nacional

Lecciones aprendidas y principales conclusiones del estudio de caso SIAH-Livable con datos relevantes: este estudio de caso muestra que la combinación de estrategias de diseño pasivo y activo puede reducir significativamente el consumo de energía en viviendas de contenedores de transporte. La implementación de techos y paredes verdes resultó ser la estrategia más efectiva, seguida por el uso de paneles fotovoltaicos y el doble acristalamiento. Las viviendas de contenedores de transporte pueden ser una opción viable y sostenible en regiones con climas extremos similares a los de Asuán y Chiriguaná, siempre y cuando se implementen estrategias de diseño adecuadas.

Conclusiones clave:

Reducción de consumo energético: Las estrategias combinadas redujeron el consumo energético en un 41.9% en comparación con el caso base.

Viabilidad de sistemas de recolección de agua de lluvia y reciclaje de aguas grises: Aunque la recolección de agua de lluvia no es viable en Asuán debido a la escasez de lluvia, el reciclaje de aguas grises presenta un gran potencial para el riego de techos verdes.

Importancia de incentivos gubernamentales: Para que tecnologías como el reciclaje de aguas grises sean viables, es necesario que existan incentivos gubernamentales y una mayor concienciación pública sobre su importancia.

Estudio de Caso 4: Propuesta de Autoconstrucción para la Adecuación Interna de Viviendas de Interés Social en Colombia mediante Criterios de Arquitectura Pasiva.

La construcción sostenible se ha convertido en una necesidad imperativa debido al alto impacto ambiental de las actividades constructivas. En el marco de la economía colombiana, la construcción entre las actividades más relevantes ya sea para el crecimiento del propio del país como para el logro de la solución del déficit de vivienda. Las VIS de Colombia son el eje central no sólo de la política de vivienda del gobierno colombiano sino que se constituyen en una opción para ofrecer vivienda a una población con bajos ingresos. De otra parte, muchas de éstas, adolecen de definir sus acabados internos, los criterios de sostenibilidad en el diseño y construcción.

El presente estudio de caso se centra en la propuesta de autoconstrucción para la adecuación interna de viviendas VIS a partir de principios de arquitectura pasiva con la intención de mejorar el confort térmico, así como también la eficiencia energética de las VIS acorde con

las condiciones climáticas - ambiental - socioculturales - de riesgo existentes en la comunidad y precisa que para su propuesta se definen de forma sostenible aquellas visitas que podrían realizar los mismos pobladores para su propio autocontrol orientado a la autogestión y a la sustentabilidad ambiental.

Descripción del lugar, clima y condiciones similares a Chiriguaná. Santiago de Cali se encuentra en una región con clima cálido-seco como las condiciones del entorno de Chiriguaná, Cesar. Santiago de Cali tiene temperaturas altas durante todo el año y una humedad relativa variable; dado que tantas características exigen una solución habitacional capaz de ofrecer confort térmico sin depender excesivamente de sistemas de climatización artificial, lo que es esencial para reducir el consumo energético y mejorar la calidad de vida de los residentes.

Tecnología aplicada: La propuesta de autoconstrucción se basa en la utilización de métodos de habitabilidad pasiva y de materiales constructivos que puedan ser reciclables. Las líneas de acción tienen que ver con las estrategias de mejora de las propiedades físicas de los muros y techos mediante el uso de materiales aislantes —lana de roca, paneles de yeso reciclados—, y que, en consecuencia, redundan en un mejor aislamiento térmico. También el diseño de las aberturas de ventilación localizadas para conseguir la máxima ventilación cruzada —disminuyendo, así, la necesidad de aire acondicionado—. Tanto la utilización de equipos de energías renovables como los sistemas fotovoltaicos y los calentadores solares de agua —que limpian la energía que se consume y que, por lo tanto, disminuyen la necesidad de consumo de la red pública—; la implementación de sistemas para el reciclado de aguas grises para riego y otros usos que no son potables para disminuir el consumo de aguas potables; la promoción de los

materiales de construcción locales o reciclados para disminuir la huella del carbono y promover la economía circular.

Detalles específicos de la tecnología aplicada:

Aislamiento de muros y techos: La aplicación de lana de roca y paneles de yeso reciclado mejora significativamente la eficiencia térmica de la vivienda, reduciendo las pérdidas de calor en invierno y evitando el sobrecalentamiento en verano.

Ventanas de doble acristalamiento: El reemplazo de ventanas simples por ventanas de doble acristalamiento ayuda a reducir las pérdidas de calor y mejora el aislamiento acústico.

Sistemas de energía solar: La instalación de paneles solares fotovoltaicos y calentadores solares de agua permite generar energía limpia para el consumo diario, reduciendo la factura eléctrica y la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Sistemas de recolección de agua de lluvia: La captación y almacenamiento de agua de lluvia proporcionan una fuente adicional de agua para el riego y la limpieza, reduciendo la demanda de agua potable.

Reciclaje de aguas grises: Las aguas grises recolectadas de duchas y lavabos se tratan y reutilizan para riego y otros usos no potables, disminuyendo el consumo de agua potable y promoviendo una gestión más sostenible del recurso hídrico.

Lecciones Aprendidas y Principales Conclusiones del Estudio de Caso La propuesta de autoconstrucción para la adecuación interna de viviendas VIS en Santiago de Cali demuestra que es posible mejorar significativamente el confort térmico y la eficiencia energética mediante la implementación de técnicas de arquitectura pasiva y materiales sostenibles. Las principales conclusiones del estudio son:

Reducción del Consumo Energético: Las mejoras en aislamiento térmico y ventilación natural pueden reducir el consumo energético de la vivienda hasta en un 30%.

Mejora del Confort Térmico: Las estrategias pasivas permiten mantener temperaturas internas más confortables sin necesidad de sistemas de climatización artificial.

Sostenibilidad Económica: La utilización de materiales locales y reciclados es ambientalmente sostenible y económicamente viable para las familias de bajos ingresos.

Autogestión: La participación activa de los habitantes en la adecuación de sus viviendas fomenta la autogestión y el empoderamiento comunitario.

Este estudio de caso ofrece una hoja de ruta para la implementación de proyectos similares en Chiriguaná, Cesar, sugiriendo que la adopción de principios de arquitectura pasiva y el uso de materiales sostenibles pueden conducir a viviendas más eficientes y confortables, alineadas con las necesidades y posibilidades económicas de las comunidades locales.

Estudio de Caso 5: Construcción de vivienda sostenible con Bloques de Suelo Cemento (BSC).

Emplear bloques de suelo cemento (BSC) para construir casas sostenibles puede ser un enfoque novedoso para reciclar el suelo que resulta de las excavaciones y que, de manera habitual, se considera una pérdida. Contribuye a reducir los residuos de la construcción y a reducir los costes y las emisiones de CO₂ debidos al transporte y la producción de las materias primas o materiales "convencionales". En el municipio de El Carmen de Viboral, en Antioquia, Colombia, se ha desarrollado un proyecto piloto con una prensa manual tipo Cinva-Ram para fabricar BSC (Moghayedi et al., 2023), lo que ha demostrado su viabilidad para la construcción sostenible.

En muchas partes de la tierra, el suelo de excavación se tira a la basura y se desperdicia un recurso que puede ser valioso. La tecnología de BSC ofrece una forma eficiente de reciclarlo y disminuir la necesidad de transportar y comprar materiales de construcción caros y con alta huella de carbono. Además, el método puede ser adecuado para zonas rurales y semiurbanas, donde los recursos e infraestructuras para los materiales de construcción tradicionales pueden ser limitados.

Descripción del adecuado sitio, clima y condiciones similares a Chiriguaná: Carmen de Viboral se ubica en la región de Antioquia, Colombia y se caracteriza por presentar un clima fresco y altos niveles de precipitación anual. Estas condiciones propician la definición de las

estrategias de diseño y construcción sostenible necesarias para asegurar la durabilidad y la eficiencia en las viviendas.

Comparado con Chiriguaná, que tiene un clima cálido y seco, existen diferencias significativas en las condiciones climáticas. Sin embargo, los principios de sostenibilidad aplicados en El Carmen de Viboral pueden ser adaptados a Chiriguaná con algunas modificaciones. Por ejemplo, mientras que la gestión del agua de lluvia es crucial en El Carmen de Viboral debido a la alta precipitación, en Chiriguaná, el enfoque podría estar más en la retención y almacenamiento eficiente del agua debido a las condiciones de sequía (Moghayedi et al., 2023).

Tecnología aplicada: la tecnología aplicada en este estudio incluye varias estrategias sostenibles centradas en la utilización de recursos locales y la minimización del impacto ambiental.

Dentro de las soluciones específicas adoptadas en SIAH-Livable, se destaca:

Bloques de Suelo Cemento (BSC): Elaborados con una mezcla de suelo y cemento en una proporción de 9:1 utilizando la prensa manual Cinva-Ram. Este método permite la producción de bloques in situ, utilizando recursos disponibles localmente y reduciendo la necesidad de transporte de materiales.

Captación de aguas de lluvias: Instalación de sistemas para la captación y almacenamiento del agua de lluvias para usos no potables. Este tipo de captación tiene una

especial importancia en áreas con alta pluviosidad, ya que permite el aprovechamiento del agua de lluvia como un recurso valioso para el riego y otros usos domésticos no potables.

Energía solar: Uso de paneles fotovoltaicos para la iluminación y paneles solares para calentar el agua. Esta tecnología es una fuente de energía renovable y reduce la dependencia de la red eléctrica, lo que puede llevar a la disminución a largo plazo de los costes operativos.

Materiales locales: Uso de guadua para las estructuras y reducción de acabados arquitectónicos a fin de disminuir los residuos. La guadua es un tipo de bambú, un material renovable que es relativamente abundante en la región y puede ser una alternativa razonable a la madera y otros materiales de la construcción.

Detalles específicos de la tecnología aplicada:

Según Moghayedi et al., (2023) se considera los siguientes elementos:

Producción del BSC:

Proporción de Mezcla: la mezcla de suelo con cemento se produce en una proporción de 9:1. El suelo empleado es la misma excavación, de esta manera se disminuye significativamente el costo de transporte y disposición de residuos.

Cinva-Ram: es una prensa mención manual, cuyo resultado permite una producción de bloques eficiente y económica. Su carácter accesible hace muy fácil la producción de BSC en el lugar de obra.

Propiedades Físico-Mecánicas:

Resistencia a la Compresión: la resistencia a la compresión de los BSC es suficiente, en acorde con lo dispuesto en las normas técnicas colombianas (NTC) con una resistencia promedio de 4 MPa; este valor es el suficiente para su uso en muros portantes y no portantes.

Durabilidad: Los BSC son duraderos y tolerantes a las condiciones medioambientales adversas, siempre que se realicen las técnicas adecuadas de curado y protección.

Sostenibilidad: Reducción de CO₂: la producción de BSC reduce las emisiones de CO₂ en un 30% respecto a la producción de ladrillos cerámicos, todo ello en virtud de la menor cantidad de energía necesaria para producir y transportar los bloques.

Uso Eficiente de Materiales: se produce la reducción de extracción y transporte de otras materias, una reducción del impacto ambiental y de los costos.

Captación de Aguas Lluvias: Sistema de recolección: los sistemas de recolección de agua de lluvia están diseñados para captar hasta 2000 litros por mes, lo que cubre el 40% de las necesidades de agua no potable de una vivienda promedio.

Almacenamiento y uso: el agua recolectada se almacena en tanques y se utiliza para riego, lavado y otros usos no potables, reduciendo la demanda de agua potable y promoviendo la sostenibilidad hídrica.

Energía solar: Paneles Fotovoltaicos: Los paneles solares instalados generan electricidad para iluminación y otros usos domésticos, reduciendo la dependencia de la red eléctrica y los costos energéticos.

Calentadores Solares: Los calentadores solares de agua proporcionan una fuente de energía renovable para el agua caliente doméstica, mejorando la eficiencia energética de la vivienda.

Materiales Locales:

Guadua: La guadua es utilizada para estructuras, proporcionando una alternativa sostenible y renovable a la madera. Es resistente y flexible, adecuada para diversas aplicaciones estructurales.

Reducción de Residuos: La reducción de acabados arquitectónicos y el uso de materiales reciclados minimizan los residuos de construcción y promueven prácticas de construcción sostenibles.

Lecciones aprendidas a partir del estudio de caso con su correspondiente resolutive:

El estudio de caso de Carmen de Viboral muestra que la construcción con bloques de suelo cemento (BSC) es una alternativa viable y sostenible para la vivienda en Colombia, más aun como vivienda no urbana. Las lecciones aprendidas consisten en la viabilidad económica y

la sostenibilidad, pues la reutilización de suelos residuales con el fin de disminuir los costes de la construcción también proporcionará una significativa disminución de emisiones de gases con efecto invernadero. La fabricación de los BSC in situ, aplicando el sistema Cinva-Ram, se puede realizar de forma eficiente y económica, puesto que muestra una adecuada capacidad de replicación para el resto del país. En lo que se refiere a la dimensión físico-mecánica, el BSC cumple las condiciones normativas en términos de resistencia y durabilidad para su uso en múltiples aplicaciones estructurales. Los beneficios ambientales que introduce el BSC también son notorios, ya que se podría llegar a disminuir las emisiones de CO₂ y conseguir un correcto aprovechamiento de los recursos locales, por lo que el impacto positivo que presentan estas alternativas en la sostenibilidad ambiental es claro. Para el caso del proyecto en Chiriguaná, se recomienda ajustar la proporción de la mezcla y el proceso de curado para optimizar el comportamiento del BSC en climas cálidos y secos. La formación en el uso del Cinva-Ram y la sensibilización sobre los potenciales beneficios de los BSC serán clave para conseguir la aceptación del proyecto y el propio proyecto en sí mismo.

Análisis del estudio.

Los cinco casos analizados de donde surgen las estrategias y tecnologías planteadas para la resolución de la sostenibilidad, a sabiendas que son climas dados en los que también se encuentran los de Chiriguaná. A continuación, se plantea un análisis comparativo que permitirá poner de manifiesto patrones comunes, factores de éxito y problemáticas comunes.

Tabla 10

Casos de estudio

Comparación de casos de estudio			
Enfoque en Eficiencia Energética y Confort Térmico	Uso de Materiales Sostenibles y Locales	Adaptación a Condiciones y Cultura Locales	Desafíos en la Implementación y Aceptación
- Común en todos los estudios es el énfasis en la eficiencia energética y el confort térmico. Desde el proyecto SIAH-Livable en Sudáfrica hasta las viviendas de contenedores en Asuán, se observa un enfoque en el uso inteligente de los recursos y la adaptación a las condiciones climáticas locales. - Tanto en la propuesta de autoconstrucción en Santiago de Cali como en el uso de ladrillos geopoliméricos en Asuán, la combinación de aislamiento, ventilación natural y energías renovables ha demostrado contribuir significativamente a la eficiencia energética y al confort interno de las viviendas.	- La selección de materiales sostenibles y locales es un factor común y clave para el éxito. En SIAH-Livable, se utilizan marcos de acero reciclado y revestimientos de madera prefabricados, mientras que el proyecto en Asuán aprovecha los ladrillos geopoliméricos fabricados a partir de residuos industriales. - Esta elección refleja una tendencia hacia la minimización del impacto ambiental y la promoción de la sostenibilidad a largo plazo, como también se evidencia en la propuesta de autoconstrucción que utiliza materiales locales y reciclados. - En el estudio de BSC, se reutiliza el suelo residual de las excavaciones, lo que reduce la necesidad de transportar materiales y	- Un patrón importante es la adaptación de las soluciones de diseño a las condiciones climáticas, geográficas y culturales locales. Esto es evidente en la adaptación del diseño pasivo en Santiago de Cali y en la integración de contenedores de transporte reutilizados en Asuán. - La flexibilidad y contextualización de las tecnologías y estrategias de diseño son fundamentales para su aceptación y efectividad, asegurando que las soluciones sean prácticas y beneficiosas para la comunidad local. -En el Carmen de Viboral, se demostró que la construcción con BSC es adaptable a las condiciones climáticas locales, y con ajustes, esta tecnología puede ser	- Un desafío recurrente es la necesidad de aumentar la concienciación y aceptación de las tecnologías innovadoras. Esto es notable en la implementación de sistemas de energía solar y en la adopción de técnicas de construcción pasiva. - La educación y la formación son esenciales para superar barreras en la adopción de nuevas tecnologías y métodos de construcción, como se destaca en la propuesta de autoconstrucción en Santiago de Cali, donde se promueve la autogestión y la participación comunitaria.

	disminuye la huella de carbono, destacando la importancia de utilizar recursos disponibles localmente.	igualmente efectiva en Chiriguaná.
Lecciones para Aplicación en Chiriguaná	- El aspecto que se rescata en estos estudios para Chiriguaná se relaciona con la forma de hacer diseño adaptativo a climas cálidos y secos, la importancia de usar materiales sostenibles y un enfoque integrado en sostenibilidad. - En Chiriguaná, la adopción de estrategias similares puede incluir la adaptación de tecnologías a las condiciones locales; la construcción con materiales locales y sostenibles; prácticas de construcción que respeten las particularidades del entorno físico y social, en el que el medio ambiente y la cultura gozan de una especial relevancia.	

Este análisis comparativo resalta que, a pesar de las variaciones en ubicación y contexto, hay principios universales en la construcción sostenible que pueden ser adaptados y aplicados en diferentes regiones, incluyendo Chiriguaná. La integración de estos principios con un enfoque localizado y culturalmente sensible es clave para el éxito de futuros proyectos de construcción sostenible.

Sugerencias

A partir del análisis comparativo se ofrecen recomendaciones concretas para que se puedan seleccionar e implementar tecnologías de construcción sostenible en Chiriguaná a partir de las lecciones aprendidas de los casos analizados en los casos exitosos en Santiago de Chile y Asuán, y que se fundamentan en maximizar la eficiencia energética, mejorar el confort térmico, utilizar materiales sostenibles y promover la autogestión en el ámbito comunitario.

1. Implementar materiales aislantes como la lana de roca y los paneles de yeso reciclados para mejorar las prestaciones térmicas tanto de las paredes como en los techos.

La mejora del aislamiento térmico es uno de los objetivos más importantes a perseguir para lograr la disminución de la transferencia de calor al punto de conseguir una menor necesidad de climatización artificial con el consiguiente ahorro energético, lo que hacen los casos analizados en Santiago de Cali y Asuán, y donde se ha llegado a saber que una mejora en el aislamiento térmico puede hacer que se puedan llegar a reducir un importante volumen de los costes energéticos, así como el propio confort térmico de los habitantes de las viviendas.

2. La realización de aberturas estratégicamente situadas para favorecer la ventilación cruzada en el interior de las viviendas.

La ventilación natural es una de las estrategias pasivas más adecuadas para conseguir temperaturas interiores agradables sin recurrir a sistemas de climatización artificial, como puede ser el aire acondicionado; diseño de patios y aberturas en los casos analizados en los estudios de caso en Asuán y Santiago de Cali nos han evidenciado que esta estrategia es muy útil en climas cálidos y secos.

3. La instalación de sistemas fotovoltaicos y calentadores solares para agua como forma de dar energía limpia y disminuir la dependencia de la red eléctrica.

La energía solar es una fuente renovable muy abundante en regiones cálidas como en Chiriguaná, tanto como demuestran los casos de estudio en SIAH-Livable como en las casas de contenedores de Asuán, también en cuanto a su capacidad para cubrir una buena parte de la energía necesaria del hogar del que nos ocupamos. Todo ello, -reduciendo costes operativos, así como también las emisiones de CO₂- llevan a pensar que la energía solar tiene un buen recorrido entre las técnicas de construcción sostenible.

4. Promover el uso de materiales locales de construcción, en particular bloques de suelo cemento (BSC), además de estructuras de acero recicladas:

La utilización de materiales de construcción locales y reciclados no sólo permite reducir la huella de carbono asociada al transporte de los materiales, sino que también contribuye a la economía local y cataliza la sostenibilidad. Los estudios de caso que se explican en El Carmen de Viboral y SIAH-Livable manifiestan cómo se pueden integrar materiales reciclados en la construcción sostenible sin comprometer la calidad ni la vida útil de la edificación.

5. Construcción de sistemas para el aprovechamiento de aguas pluviales y para el reciclaje de aguas grises y para usos no potables.

La gestión del agua es fundamental en las áreas con déficit de recursos hídricos. La implementación de sistemas de recolección y reciclaje de agua, al igual que los que se enfatizan en los estudios de caso en Santiago de Cali y SIAH-Livable, son sistemas que pueden contribuir

a la sostenibilidad hídrica de las comunidades y son promovidos para lograr disminuir la petición de agua potable.

6. Promover programas de educación y capacitación de residentes para la práctica de la construcción sostenible y la autogestión de su vivienda.

La implicación de la comunidad es clave para el éxito de las prácticas de construcción sostenible. La autogestión junto con la forma de hacer empoderamiento de la comunidad, como se proponía en la propuesta de autoconstrucción del caso de Santiago de Cali, aseguran que los residentes comprendan y apliquen las tecnologías y prácticas sostenibles logrando el máximo rendimiento y duración de estas prácticas.

7. Contextualizar tecnologías y estrategias en la construcción sostenible a las condiciones climáticas, geográficas y culturales de Chiriguaná.

La contextualización de las soluciones de diseño es lo que hará que éstas sean aceptadas. Las estrategias de los estudios de caso en las regiones explican que, aunque sean no universales, las estrategias de sostenibilidad deben adaptarse a las condiciones de cada contexto para generar un impacto.

Tabla 11*Tecnología aplicada / resultado de estudio de caso*

Estudio de Caso	Tecnología aplicada	Resultados
SIAH-Livable	Revestimiento de madera prefabricado para la fachada exterior. Marcos de acero reciclado. Sistemas de energía solar fotovoltaica. Sistemas de recolección y reciclaje de agua de lluvia.	Reducción del consumo de recursos y mejora en la eficiencia energética. Inclusión social y asequibilidad.
Geopolymer Bricks en Asuán	Fabricación de ladrillos geo poliméricos a partir de residuos industriales. Uso de sistemas de energía solar fotovoltaica. Ventilación natural y techos verdes.	Reducción del consumo energético en un 14.9%. Mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad ambiental.
Shipping Container Homes en Asuán	Uso de contenedores de transporte reutilizados. Diseño de patios para enfriamiento pasivo. Techos y paredes verdes. Sistemas de energía solar fotovoltaica.	Reducción del consumo energético en un 41.9%. Eficiencia en la gestión de aguas pluviales y mejora del confort térmico.
Autoconstrucción en Santiago de Cali	Aislamiento térmico con lana de roca y paneles de yeso reciclado. Ventilación natural mediante aberturas estratégicas. Sistemas de energía solar fotovoltaica y calentadores solares de agua. Reciclaje de aguas grises. Uso de materiales locales y reciclados.	Mejora del confort térmico y reducción del consumo energético hasta en un 30%. Promoción de la autogestión y la sostenibilidad económica.
Construcción de Vivienda Sostenible con Bloques de Suelo Cemento (BSC)	Bloques de suelo cemento elaborados con suelo y cemento. Captación de aguas lluvias. Uso de energía solar para iluminación y calentadores solares. Uso de guadua para estructuras.	Reducción de costos y emisiones de CO ₂ . Mejora en la eficiencia energética y reutilización de recursos locales

4.2 Clasificar las tecnologías seleccionadas, por medio de su impacto ambiental en términos de reducción de huella de carbono y otros factores ambientales, así como su impacto social en términos de accesibilidad y calidad de vida para los residentes de las viviendas sostenibles en Chiriguaná.

4.2.1 Aplicación de encuestas a la comunidad y profesionales del sector

Ver apéndice D.

4.2.2 Desarrollo de criterios de clasificación basados en impacto ambiental y social

Criterios Ambientales

Reducción de Huella de Carbono:

La huella de carbono se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por las actividades humanas, y se mide en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). La legislación cubre todas las emisiones asociadas con la producción y el consumo de bienes y servicios y es necesaria para evaluar y reducir los impactos ambientales en una variedad de industrias, incluida la industria de la construcción. (Hammond & Jones, 2011). El dióxido de carbono equivalente (CO₂e) es una unidad de medida que permite comparar las emisiones de diferentes GEI en función de su potencial de calentamiento global. Por ejemplo, 1 tonelada de metano tiene un efecto de calentamiento global aproximadamente 25 veces mayor que 1 tonelada de CO₂, por lo que se expresa como 25 toneladas de CO₂e. Esta estandarización permite evaluar y comparar el impacto ambiental de diferentes actividades.

En el sector de la construcción, las emisiones de carbono son particularmente importantes debido a las altas emisiones generadas durante la vida útil de un edificio. Estas emisiones surgen del procesamiento de materias primas, la producción de materiales de construcción, el transporte, el edificio en sí, el uso del edificio, la demolición y la disposición final (Material Products Association, 2019). El Análisis del Ciclo de Vida (LCA) es la metodología estándar utilizada para evaluar estas emisiones y proporciona una visión integral del impacto ambiental de un edificio de principio a fin.

La importancia de una huella de carbono radica en su capacidad para medir el impacto climático. Permite a los tomadores de decisiones identificar y priorizar áreas donde se pueden reducir las emisiones. Esto es absolutamente necesario en el contexto del cambio climático global. Dado que es necesario reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar los peores impactos del calentamiento global (Hammond & Jones, 2011), la huella de carbono es una prioridad global consagrada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, en particular el ODS 13: Acción por el clima. Busca acciones urgentes para abordar el cambio climático y sus impactos. A nivel internacional, políticas y acuerdos como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París han establecido metas claras para la reducción de emisiones de GEI. El Protocolo de Kioto, adoptado en 1997, fue el primer acuerdo internacional con objetivos vinculantes de reducción de emisiones para los países industrializados.

El Acuerdo de París, adoptado en 2015, amplió estos esfuerzos al incluir compromisos de reducción de emisiones de todos los países, con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales y esforzarse por limitarlo a 1.5°C (United Nations, 2015). La industria de la construcción es responsable de una proporción significativa de las emisiones globales de GEI. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2018, el sector de la construcción y los edificios representaron aproximadamente el 36% del consumo final de energía y cerca del 39% de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía. Estas cifras destacan la necesidad urgente de abordar las emisiones de carbono en la construcción para cumplir con los objetivos climáticos internacionales (IEA, 2019).

Metodologías para la Evaluación de la Huella de Carbono

El análisis del ciclo de vida (ACV) es fundamental para evaluar la huella de carbono de la construcción de viviendas unifamiliares. Este método permite una evaluación integral de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con todas las etapas del ciclo de vida del hogar, desde el procesamiento de las materias primas hasta la disposición final de las mismas (Hammond & Jones, 2011). ACV cubre varios pasos clave: En primer lugar, analizamos la producción de materiales y evaluamos las emisiones generadas durante el procesamiento y procesamiento de las materias primas utilizadas en la producción de materiales de construcción. También se tienen en cuenta las emisiones asociadas con el transporte de estos materiales desde el sitio de producción hasta el sitio de construcción. Durante la fase de construcción se examinan las emisiones derivadas del uso de maquinaria y equipos necesarios para el edificio. Cuando utiliza su hogar, se estiman las emisiones asociadas con su uso de energía, incluida la calefacción, la refrigeración, la iluminación y otros usos del hogar. Al final de la vida, son emisiones generadas durante la demolición de edificios y eliminación de materiales. Este enfoque integral nos permite identificar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en todas las etapas del ciclo de vida de una vivienda unifamiliar, contribuyendo a prácticas de construcción más sostenibles.

Identificación y fuentes de emisión

La identificación de las fuentes de emisión de carbono en la construcción es esencial para implementar estrategias de mitigación efectivas. A continuación, se detallan las principales

fuentes de emisión, clasificadas en tres categorías: materiales de construcción, proceso constructivo y ciclo de vida del edificio.

Materiales de Construcción

Cemento: El cemento es el mayor contribuyente a la huella de carbono de la construcción. La producción de cemento es un proceso que consume mucha energía y emite grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2). Según datos del ICE, el cemento tiene una energía incorporada (EE) de 4,8 MJ/kg y un carbono incorporado (EC) de 0,74 kg CO_2 /kg.

Acero: la producción de acero también genera importantes emisiones de CO_2 . La fabricación de acero requiere altas temperaturas, generalmente quemando carbón o gas natural en un alto horno. Además, la extracción y el procesamiento del mineral de hierro contribuyen al impacto ambiental. El acero reciclado tiene una eficiencia de 6,7 MJ/kg y una conductividad eléctrica de 0,62 kg de CO_2 /kg.

Ladrillos tradicionales: los ladrillos tradicionales se fabrican con arcilla criada en hornos, lo que requiere energía, que se ahorra normalmente quemando combustibles fósiles, Este proceso emite dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos. Un ladrillo típico tiene una eficiencia de 3,0 MJ/kg y una conductividad eléctrica de 0,22 K CO_2 /kg.

Proceso Constructivo

Producción de Materiales: La fase de producción de materiales de construcción es una de las etapas más intensivas en emisiones. Cada material, desde su extracción hasta su procesamiento, involucra el uso de maquinaria pesada y procesos industriales que generan CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

Transporte: El transporte de materiales de construcción desde el lugar de producción hasta el sitio de construcción contribuye significativamente a la huella de carbono. Los vehículos de transporte, generalmente camiones, emiten CO₂ y otros contaminantes durante el transporte de materiales. Por ejemplo, el transporte de cemento contribuye con aproximadamente 0.045 kg CO₂ por tonelada por kilómetro.

Construcción en Sitio: Las actividades en el sitio de construcción, como la operación de maquinaria pesada, generadores y equipos de construcción, también contribuyen a las emisiones de carbono. La energía utilizada en estas actividades generalmente proviene de combustibles fósiles, incrementando así la huella de carbono.

Ciclo de Vida de la Vivienda

Fase de Uso: Durante la fase de uso de la vivienda, se generan emisiones relacionadas con el consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación y funcionamiento de equipos eléctricos. La eficiencia energética de la vivienda y el tipo de fuentes de energía

utilizadas (renovables vs. no renovables) son factores clave en esta etapa. Una vivienda unifamiliar típica puede emitir aproximadamente 60 kg CO₂/m² por año durante su uso.

Mantenimiento y Renovación: Las actividades de mantenimiento y renovación a lo largo de la vida útil de la vivienda también generan emisiones. Esto incluye la producción y transporte de materiales de reemplazo y las actividades de construcción necesarias para el mantenimiento.

Fin de Vida Útil: Al final de la vida útil de la vivienda, la demolición y disposición de los materiales de construcción pueden contribuir significativamente a las emisiones de carbono. La reutilización y reciclaje de materiales pueden mitigar algunas de estas emisiones, pero, aun así, las actividades de demolición y transporte generan CO₂. La demolición puede contribuir con aproximadamente 0.15 kg CO₂/m.

Tabla 12

Categorías /fuente de emisión

Categoría	Fuente de Emisión	Descripción
Materiales de Construcción	Cemento	EE: 4.8 MJ/kg, EC: 0.74 kg CO ₂ /kg.
	Acero	EE: 6.7 MJ/kg, EC: 0.62 kg CO ₂ /kg.
	Ladrillos Convencionales	EE: 3.0 MJ/kg, EC: 0.22 kg CO ₂ /kg.
Proceso Constructivo	Producción de Materiales	Procesos industriales, maquinaria pesada.
	Transporte	Emisiones de vehículos de transporte de materiales (0.045 kg CO ₂ /ton-km).

	Construcción en Sitio	Operación de maquinaria pesada y equipos de construcción.
Ciclo de Vida de la vivienda	Fase de Uso	Consumo de energía (60 kg CO ₂ /m ² por año).
	Mantenimiento y Renovación	Producción y transporte de materiales de reemplazo, actividades de construcción.
	Fin de Vida Útil	Demolición (0.15 kg CO ₂ /m ²), disposición de materiales, reutilización y reciclaje.

Herramientas y Normativas Cálculo de Huella de Carbono

Existen diversas herramientas y normativas que facilitan el cálculo de la huella de carbono en la construcción:

1. Normativas:

ISO 14040: Proporciona principios y marco de referencia para realizar ACV.

PAS 2050: Especificación que permite evaluar la huella de carbono de productos y servicios.

ISO/TS 14067:2013: Establece los requisitos y directrices para cuantificar y comunicar la huella de carbono de productos.

2. Software:

SimaPro: Herramienta avanzada de ACV que permite evaluar los impactos ambientales de productos y procesos.

GaBi: Software de modelado que proporciona bases de datos y métodos de cálculo para realizar ACV.

Carbon Calculator y LCB Calculator: Calculadoras basadas en hojas de cálculo para medir el impacto de los GEI en actividades constructivas.

Build Carbon Neutral: Calculadora diseñada por arquitectos e ingenieros para proyectos de construcción específicos.

El cálculo de la huella de carbono en la construcción se realiza mediante la recopilación de datos de actividad (cantidad de materiales e insumos utilizados) y la aplicación de factores de emisión correspondientes, multiplicados por el Potencial de Calentamiento Global (PCG) para cada compuesto químico, obteniendo así las emisiones en CO₂ equivalente (CO₂ eq). Este procedimiento donde se muestra la fórmula fundamental para el cálculo de la huella de carbono:

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = \sum_{i=1}^n (A_i * FE_i * GWP)$$

Donde

A_i Son los datos de actividad

FE_i Son los factores de emisión

GWP es el potencial de calentamiento Global

Factores de Emisión:

Los factores de emisión relacionan los datos de actividad con la cantidad de emisiones de un compuesto químico específico. Estos factores se basan en datos representativos y condiciones

de funcionamiento promedio. Para esta investigación, se basa en el resumen del informe de carbono y energía (ICE) conocido como **Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0**, creado por el Prof. Geoff Hammond y Craig Jones en enero de 2011 y mantenido por el Sustainable Energy Research Team (SERT) del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Bath, Reino Unido. Esta tabla proporciona coeficientes de **energía incorporada (EE)** la cual se mide megajulios por kilogramo (MJ/kg) y representa la cantidad total de energía utilizada para producir un material desde la extracción de recursos hasta la fabricación, y carbono incorporado (EC) el cual se mide en kilogramos de CO₂ por kilogramo (kgCO₂/kg) y refleja la cantidad de dióxido de carbono emitido durante el ciclo de vida de un material. para una amplia variedad de materiales de construcción, facilitando una evaluación detallada de su impacto ambiental.

Estimación de Huella de Carbono para Tecnologías de Construcción analizadas

Para este análisis no se tendrá en cuenta el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés). La razón para esta decisión es la siguiente:

El GWP es una métrica que cuantifica el impacto de los diferentes gases de efecto invernadero en el calentamiento global en comparación con el dióxido de carbono (CO₂) a lo largo de un periodo específico (por lo general, 20, 100 o 500 años). Sin embargo, este análisis se centra exclusivamente en las emisiones de CO₂e (dióxido de carbono equivalente), ya que es el principal gas de efecto invernadero emitido durante la producción y uso de materiales de construcción. Dado que las otras emisiones de gases de efecto invernadero en estos procesos son

significativamente menores y menos relevantes comparadas con las emisiones de CO₂, y para simplificar el análisis y hacer más comparables las diferentes tecnologías, este análisis se centra exclusivamente en las emisiones de CO₂e.

Es importante señalar que esta estimación solo analiza las emisiones asociadas a los materiales de construcción y no incluye el transporte ni el proceso constructivo.

A continuación, se presentan las estimaciones de la huella de carbono para las tecnologías de construcción analizadas:

Bloques de Suelo Cemento

Datos:

1. Emisiones de CO₂e por tonelada de cemento: En el "Inventario de Carbono y Energía (ICE)" se especifica que las emisiones de CO₂e para el cemento Portland tipo CEM I, con un contenido de clínker del 94%, son de aproximadamente 0.93 kg CO₂e/kg, lo que equivale a 930 kg CO₂e por tonelada de cemento.
2. Uso de cemento en bloques de suelo cemento: Para bloques de suelo cemento, se utiliza una proporción de mezcla que incluye aproximadamente 10% de cemento, lo que equivale a 0.1 toneladas de cemento por metro cúbico de mezcla.

Cálculo de Emisiones de CO₂e: Dado el uso de 0.1 toneladas de cemento por metro cúbico y las emisiones de 930 kg CO₂e por tonelada de cemento, se puede calcular las emisiones de CO₂e de la siguiente manera:

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = 0.1\text{toneladas} \times 930\text{kg CO}_2\text{e/tonelada}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = 93\text{kg CO}_2\text{e/tonelada}$$

Steel Framing

Datos:

1. Emisiones de CO₂e por tonelada de acero: Según el "Inventario de Carbono y Energía (ICE)" de la Universidad de Bath, las emisiones de CO₂e para el acero son aproximadamente 1.46 kg CO₂e/kg (o 1,460 kg CO₂e/tonelada) cuando se considera el acero virgen.

2. Uso de acero en construcciones de Steel Framing: De acuerdo con la '*Steel Construction Info*'

(https://steelconstruction.info/The_Steel_Construction_Information_System) el uso de acero para edificios de baja altura y vanos cortos es aproximadamente 30-40 kg/m².

Para los cálculos, se sugiere un valor promedio de 35 kg/m² (0.035 toneladas/m²) para mayor precisión en este tipo de construcciones.

3. En el "Inventario de Carbono y Energía (ICE)" de la Universidad de Bath, se menciona que las emisiones promedio de CO₂e para paneles de aislamiento son aproximadamente 3.0 kg CO₂e/m².

4. Asumiendo un peso promedio de 10kg/m² para los paneles de PUR

Calculo:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ acero} = 0.035 \text{ toneladas} \times 1,850 \text{ kg CO}_2 \text{e/tonelada}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{e acero} = 64,75 \text{ kg CO}_2 \text{e/m}^2$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ paneles} = 10 \text{ kg/m}^2 \times 3.34 \text{ kg CO}_2 \text{e/kg}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{e paneles} = 33,4 \text{ kg CO}_2 \text{e/m}^2$$

$$\text{Total de Emisiones de CO}_2 \text{e acero} = 64,75 \text{ kg CO}_2 \text{e/m}^2 + 33,4 \text{ kg CO}_2 \text{e/m}^2$$

$$\text{Total de Emisiones de CO}_2 \text{e acero} = 98,15 \text{ kg CO}_2 \text{e/m}^2$$

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)

Datos:

1. Emisiones de CO₂e por tonelada de tierra: Según el "Inventario de Carbono y Energía (ICE)" de la Universidad de Bath, las emisiones de CO₂e para la tierra utilizada en construcciones (adobe, tapial) son aproximadamente 14 kg CO₂e por tonelada.

2. Uso de tierra en construcciones: se estima que se utiliza aproximadamente 1 tonelada de tierra por metro cuadrado de construcción.

Calculo: Dado el uso de 1 tonelada de tierra por metro cuadrado y las emisiones de 14 kg CO₂e por tonelada de tierra, se puede calcular las emisiones de CO₂e de la siguiente manera:

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = 1\text{tonelada} \times 14\text{kg CO}_2\text{e/tonelada}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = 14\text{kg CO}_2\text{e/tonelada}$$

Contenedores de Envío Reciclados

Datos:

1. Emisiones de CO₂e por tonelada de acero (contenedores reciclados): Según el "Inventario de Carbono y Energía (ICE)" de la Universidad de Bath, las emisiones de CO₂e para el acero reciclado utilizado en contenedores son aproximadamente 1.46 kg CO₂e/kg (o 1,460 kg CO₂e/tonelada).

2. *Uso de acero en contenedores reciclados: Para los contenedores de envío reciclados, se estima que se utiliza aproximadamente 3.5 toneladas de acero por contenedor.*

Calculo: Dado el uso de 3.5 toneladas de acero por contenedor y las emisiones de 1,460 kg CO₂e por tonelada de acero, se puede calcular las emisiones de CO₂e de la siguiente manera

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = 3.5\text{toneladas} \times 1,460\text{kg CO}_2\text{e/tonelada}$$

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 6,110kg\ CO_2e/contenedor$$

Superficie de un contenedor estándar: Aproximadamente 28.3 m² (un contenedor de 20 pies tiene dimensiones aproximadas de 6.058 m de largo, 2.438 m de ancho y 2.591 m de alto).

$$Emisiones\ de\ CO_2e\ por\ m^2 = \frac{5,110kg\ CO_2e}{28.3m^2}$$

$$Emisiones\ de\ CO_2e\ por\ m^2 = 180.57kg\ CO_2e/m^2$$

Construcción Modular

Datos:

1. Emisiones de CO₂e por metro cuadrado de construcción modular: las emisiones de CO₂e para la construcción modular son aproximadamente 119 kg CO₂e por metro cuadrado, esta estimación es basada en la suma de las emisiones de carbono de los diferentes materiales y procesos involucrados en la construcción modular. Materiales Comunes en Construcción Modular: Acero estructural, Paneles de aislamiento, Materiales de revestimiento.

Acero estructural

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 1.46kg\ CO_2e/kg$$

$$Uso\ promedio: 50\ kg/m^2$$

$$Calculo\ de\ emisiones\ m^2: 50\ \frac{kg}{m^2} \times 1.46kgCO_2\ e/kg = 73kgCO_2\ e/m^2$$

Paneles de aislamiento

$$Emisiones\ de\ CO_2e = 3\ kg\ CO_2e/kg$$

Uso promedio: 7 kg/m²

$$\text{Calculo de emisiones } m^2: 7 \frac{kg}{m^2} \times 3kgCO_2e/kg = 21 kgCO_2e/m^2$$

Material de revestimiento

Emisiones de CO₂e = 5 kg CO₂e/kg

Uso promedio: 5 kg/m²

$$\text{Calculo de emisiones } m^2: 5 \frac{kg}{m^2} \times 5kgCO_2e/kg = 25 kgCO_2e/m^2$$

Cálculo: El cálculo directo de emisiones de CO₂e para construcción modular es

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e por } m^2 = 73 + 21 + 25 = 119kg CO_2e/m^2$$

Material de Construcción Reciclados

Material Comúnmente Reciclados en la Construcción: Acero Reciclado, Hormigón Reciclado, Madera Reciclada.

1. Emisiones de CO₂e por tonelada de materiales reciclados:

Acero reciclado: 0.4 – 0.5 kg CO₂e/kg (400 – 500 kg CO₂e/tonelada)

Hormigón reciclado: 0.1 kg CO₂e/kg (100 kg CO₂e/tonelada)

Madera reciclada: 0.02-0.05 kg CO₂e/kg (20 – 50 kg CO₂e/tonelada)

Cálculo promedio de emisiones de CO₂e para materiales reciclados:

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = \frac{500 + 100 + 35}{3} = 212 kg CO_2e/tonelada$$

Ladrillos de Geo-polímero

Datos:

1. Emisiones de CO₂e por tonelada de ladrillos de geo-polímero: 150-200 kg

CO₂e/tonelada (Fuente: FS_18_Embodied_CO₂e, MPA Cement) las emisiones sean menores que las del cemento Portland y otros materiales tradicionales debido al uso de subproductos industriales reciclados y la menor energía requerida para su producción.

Cálculo:

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{e} = 150 - 200 \text{ kg CO}_2\text{e/tonelada}$$

Tabla 13

Resumen de valores asignados 1

Tecnología	Emisiones de CO₂e (kg/unidad)	Valor de reducción de CO₂e (1-10)
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	14 kg CO ₂ e/tonelada	10
Bloques de Suelo Cemento	86 kg CO ₂ e/tonelada	8
Ladrillos de Geo-polímero	150-200 kg CO ₂ e/tonelada	7
Materiales de Construcción Reciclados	300 kg CO ₂ e/tonelada	6
Steel Framing	98,15 kg CO ₂ e/ m ²	6
Construcción Modular	119 kg CO ₂ e/m ²	5
Contenedores de Envío Reciclados	180.57 kg CO ₂ e/ m ²	4

Conservación de Recursos

La sostenibilidad en la construcción requiere la conservación de los recursos naturales. Diversas tecnologías y materiales contribuyen a lograr este objetivo reduciendo la demanda de materias primas vírgenes, reduciendo los residuos y mejorando el uso de la energía y el agua. A continuación se analizan diferentes técnicas y materiales en la conservación de recursos:

Bloques de Suelo Cemento

La tecnología de bloques de suelo de cemento se distingue por su eficiencia en la preservación de los recursos naturales. Al incorporar en su diseño desechos industriales sólidos, como cáscaras de arroz y escoria de alto horno, estos bloques utilizan materiales que de otro modo se descartarían, lo que reduce la demanda de materias primas vírgenes y reduce el impacto ambiental. Además de contribuir a la sostenibilidad, esta práctica mejora las propiedades físicas y mecánicas de los bloques, dando un producto final de alta calidad y bajo impacto ambiental.

Beneficios:

Reducción de Residuos: Utilización de subproductos industriales.

Menor Demanda de Materias Primas: Disminución en el uso de cemento Portland.

Sostenibilidad: Mejora de propiedades mecánicas y durabilidad del material.

Valor Asignado: 8

Ladrillos de Geopolímero

Los ladrillos de geopolímero son reconocidos por su eficiencia en términos de conservación de recursos. Fabricados con materiales geopolímeros, estos ladrillos reducen significativamente el consumo de energía y recursos naturales durante la producción en comparación con los métodos tradicionales de producción de ladrillos. Utilizan desechos industriales como cenizas volantes, lo que reduce la necesidad de materias primas de desecho y reduce las emisiones de dióxido de carbono asociadas con la producción de cemento Portland. Además, el proceso de curado de los ladrillos de geopolímero suele requerir menos energía.

Beneficios:

Reducción de CO₂: Menor emisión de gases de efecto invernadero.

Uso de Materiales de Desecho: Aprovechamiento de cenizas volantes.

Eficiencia Energética: Procesos de curado que requieren menos energía.

Valor Asignado: 8

Construcción Modular

La construcción modular se destaca por su eficiencia en la conservación de recursos, particularmente en el uso eficiente del agua, la energía y otros recursos naturales. Al fabricar componentes en un entorno controlado de fábrica, se minimiza el desperdicio de materiales y se optimiza el uso de recursos. Este proceso reduce también la necesidad de energía y agua en

comparación con los métodos de construcción tradicionales. Además, la precisión en la fabricación de módulos contribuye a edificaciones más eficientes energéticamente, lo que a largo plazo ahorra recursos.

Beneficios:

Minimización de Desperdicios: Producción en fábrica controlada.

Eficiencia de Recursos: Optimización del uso de agua y energía.

Eficiencia Energética: Construcciones precisas y mejor aisladas.

Valor Asignado: 7

Steel Framing

El steel framing es una tecnología de construcción que destaca por su eficiencia en la conservación de recursos naturales. Utiliza acero, un material altamente reciclable, para la estructura de edificios, lo que reduce la necesidad de recursos naturales vírgenes. Además, el proceso de construcción con steel framing es más limpio y genera menos desperdicios en comparación con los métodos de construcción tradicionales.

Beneficios:

Reciclabilidad: Uso de acero reciclable.

Menor Desperdicio: Proceso de construcción más limpio.

Conservación de Recursos: Reducción en el uso de materiales vírgenes.

Valor Asignado: 7

Materiales de Construcción Reciclados

El uso de materiales de construcción reciclados promueve la conservación de recursos al reducir la demanda de materias primas vírgenes y minimizar el volumen de residuos enviados a los vertederos. Estos materiales pueden incluir vidrio, plástico, metal, y madera reciclados, los cuales requieren menos energía para su producción en comparación con la fabricación de nuevos materiales.

Beneficios:

Reducción de Materias Primas: Menor demanda de materiales vírgenes.

Menor Huella de Carbono: Disminución de CO₂ asociado a la producción.

Minimización de Residuos: Reducción de desechos en vertederos.

Valor Asignado: 8

Contenedores de Envío Reciclados

La reutilización de contenedores de envío reciclados en la construcción es una práctica sostenible que conserva recursos al dar nueva vida a estructuras ya fabricadas, evitando el uso de materiales de construcción nuevos y reduciendo la demanda de recursos naturales. Esta tecnología minimiza el desperdicio de material y aprovecha la resistencia y durabilidad de la embarcación.

Beneficios:

Reutilización estructural: no se requieren nuevos materiales.

Durabilidad: aprovecha la resistencia de la embarcación.

Eficiencia energética: potencial de aislamiento térmico eficiente

Valor Asignado: 6

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)

Construcción utilizando minerales, etc. El adobe y la tierra para estructuras son muy eficientes para conservar los recursos naturales. Debido a que estos materiales utilizan tierra local, la necesidad de transporte y energía asociada con la producción de materiales de construcción tradicionales se reduce considerablemente. Además, producir tierra de adobe y ariete generalmente requiere un mínimo de agua y energía.

Beneficios:

Uso de Materiales Locales: Reducción en la necesidad de transporte.

Bajo Consumo de Energía: Producción con mínima energía y agua.

Regulación Térmica Natural: Eficiencia energética en edificaciones.

Valor Asignado: 9

Tabla 14*Resumen de valores asignados 2*

Tecnología de Construcción	Valor de La conservación de recursos (1-10)
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	9
Bloques de Suelo Cemento	8
Materiales de Construcción Reciclados	8
Ladrillos de Geopolímero	8
Construcción Modular	7
Steel Framing	7
Contenedores de Envío Reciclados	6

Biodiversidad y Ecosistemas

Este criterio analiza el impacto de las tecnologías de construcción en la biodiversidad local y los ecosistemas de Chiriguaná, considerando cómo cada una podría influir en el entorno natural. A continuación, se presenta el análisis individual de cada tecnología y la razón de asignarle su puntuación.

Bloques de Suelo Cemento

Los bloques de suelo cemento utilizan materiales locales y pueden incorporar residuos industriales, lo que reduce la necesidad de extraer nuevas materias primas. Aunque la producción

de cemento implica ciertas emisiones y consumo de recursos, la integración de materiales reciclados y el uso eficiente de recursos locales mitigan en gran medida su impacto en la biodiversidad y los ecosistemas. **Valor Asignado: 7**

Ladrillos de Geopolímero

Los ladrillos de geopolímero se producen a partir de materiales industriales de desecho, como cenizas volantes, lo que reduce la necesidad de materias primas vírgenes. Aunque la producción de estos ladrillos es más sostenible que la de los ladrillos tradicionales, la extracción y procesamiento de los materiales de desecho pueden tener algún impacto en los ecosistemas locales. Sin embargo, su uso contribuye a la conservación de recursos y a la reducción de emisiones. **Valor Asignado: 7**

Construcción Modular

La construcción modular reduce el desperdicio de materiales y mejora la eficiencia en el uso de recursos al fabricar componentes en un entorno controlado de fábrica. Sin embargo, el transporte y ensamblaje de los módulos pueden tener un impacto en los ecosistemas locales, especialmente si no se gestionan adecuadamente. La implementación de prácticas sostenibles en la producción y logística puede minimizar estos efectos. **Valor Asignado: 6**

Steel Framing

El steel framing utiliza acero, un material altamente reciclable, lo que contribuye a la conservación de recursos. Aunque la producción de acero es intensiva en energía y puede tener impactos significativos en los ecosistemas debido a la extracción de minerales y la generación de desechos industriales, el reciclaje de acero y la adopción de prácticas de producción más sostenibles pueden mitigar estos impactos. Además, el uso de steel framing permite estructuras duraderas y resistentes, lo que puede reducir la necesidad de reconstrucción y su impacto asociado en el medio ambiente. **Valor Asignado: 7**

Materiales de Construcción Reciclados

El uso de materiales reciclados en la construcción reduce la demanda de nuevos recursos y disminuye la cantidad de residuos enviados a los vertederos. Sin embargo, el proceso de reciclaje y la calidad variable de los materiales reciclados pueden presentar desafíos. A pesar de esto, el impacto en la biodiversidad y los ecosistemas es generalmente positivo, ya que promueve la reutilización de recursos y la reducción de desechos. **Valor Asignado: 8**

Contenedores de Envío Reciclados

La reutilización de contenedores de envío reciclados en la construcción ayuda a reducir la demanda de nuevos materiales y a minimizar los residuos. Sin embargo, la modificación y

adaptación de estos contenedores pueden generar desechos y requerir procesos industriales que impacten la biodiversidad y los ecosistemas. Además, el transporte de contenedores puede tener efectos ambientales adicionales. La implementación de prácticas sostenibles en el acondicionamiento y transporte de los contenedores puede ayudar a reducir estos impactos.

Valor Asignado: 4

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)

Aunque la construcción en tierra utiliza materiales locales y generalmente tiene un bajo impacto ambiental, la extracción de suelo puede afectar la biodiversidad y los ecosistemas locales. Además, Chiriguana es un municipio con riesgo de inundaciones, lo que plantea desafíos adicionales para la construcción en tierra. Las estructuras de adobe y tapial pueden ser vulnerables a la humedad y a los daños por agua, lo que requiere medidas adicionales para asegurar su durabilidad y resistencia. La extracción excesiva de suelo puede alterar el equilibrio ecológico y los hábitats locales. **Valor Asignado: 5**

Tabla 15*Resumen de valores asignados 3*

Tecnología de Construcción	Valor de Biodiversidad y Ecosistemas (1-10)
Materiales de Construcción Reciclados	8
Bloques de Suelo Cemento	7
Ladrillos de Geopolímero	7
Steel Framing	7
Construcción Modular	6
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	5
Contenedores de Envío Reciclados	4

Definición de Criterios Sociales:

Para realizar un análisis social efectivo de estas tecnologías en el municipio de Chiriguaná, es fundamental presentar y examinar aspectos clave del municipio. Esto incluye su localización geográfica (figura 5), así como las principales vías de comunicación que facilitan el acceso y la conectividad del municipio. Además, es imprescindible considerar la demografía del municipio, destacando la distribución de la población en zonas urbanas y rurales, el perfil socioeconómico de los habitantes y las principales actividades económicas que sostienen la región. Estos factores son cruciales para entender cómo las tecnologías propuestas pueden ser adaptadas e integradas de manera que responda a las necesidades y expectativas locales, promoviendo un desarrollo sostenible y equitativo.

Figura 5

Ubicación geográfica de Chiriguaná Cesar



El Municipio de Chiriguaná se extiende sobre 1.131,59 km² dentro del departamento del Cesar, Colombia. Geográficamente, está posicionado a 9 grados de latitud Norte y 73 grados, 37 minutos de longitud Oeste, a una altitud de 50 metros sobre el nivel del mar como se observa en la figura 4. La temperatura media anual es de 37°C, lo que hace crucial la selección de tecnologías de construcción con buena resistencia térmica. El territorio de Chiriguaná abarca desde zonas montañosas en el oriente, con elevaciones de hasta 1.500 metros en la Sierra de los Motilones, hasta la cuenca hidrográfica del río Cesar en el occidente, hogar de la Ciénaga de Zapatosa. Limita al norte con La Jagua de Ibirico y El Paso, al sur con Curumaní, al este con Venezuela y al oeste con Chimichagua y Astrea.

El departamento del Cesar se divide en cinco regiones naturales: la Sierra Nevada de Santa Marta en el noroccidente, la Serranía del Perijá al oriente, el complejo cenagoso de

Zapotosa en el centro, la llanura del Caribe, y el Valle del Río Ariguaní. Estas regiones corresponden a zonas ecológicas distintas que influyen en la diversidad de paisajes y ecosistemas presentes en el departamento.

Demografía: Chiriguaná, situado en el centro del Cesar, se extiende aproximadamente sobre 1.131,595 km² (113.159,52 ha), ubicado al pie de la Serranía del Perijá. Esta geografía variada se traduce en una diversidad de relieves, desde zonas altas y montañosas hasta valles fértiles. El 16.72% del territorio municipal tiene accidentes orográficos significativos, bajo la jurisdicción de CORPOCESAR.

Ecología: La biodiversidad del municipio es reflejo de su variada topografía, con una rica flora y fauna. La región incluye desde árboles frutales hasta especies acuáticas y aves coloridas en la Ciénaga de Zapotosa, un importante humedal que alberga una gran cantidad de especies de flora y fauna.

Vías de comunicación: Las comunicaciones terrestres en Chiriguaná incluyen vías primarias que conectan la cabecera municipal con la Troncal de Oriente y vías secundarias que facilitan el acceso a la zona rural. Además, el transporte fluvial se realiza a través del río Cesar, conectando el municipio con los departamentos de Magdalena y Bolívar, facilitando el intercambio comercial y de recursos.

Economía: La economía de Chiriguaná se basa principalmente en la agricultura, con cultivos como maíz, sorgo, yuca, café, caña de azúcar, plátano y arroz. La minería,

especialmente de carbón, también juega un papel crucial en la economía local. Además, la ganadería contribuye significativamente al sustento económico de la región.

Población: De acuerdo con el censo del DANE de 2018 y las proyecciones para 2024, Chiriguaná cuenta con una población de 32.291 habitantes. De esta población, el 59.49% (19.209 habitantes) reside en áreas urbanas, mientras que el 40.51% (13.081 habitantes) vive en zonas rurales. Este contexto demográfico destaca la necesidad de soluciones de construcción sostenibles y accesibles que puedan mejorar la calidad de vida tanto en áreas urbanas como rurales.

Accesibilidad y Asequibilidad de las tecnologías: Este criterio analiza el costo y la facilidad de acceso a diversas tecnologías de construcción, considerando factores económicos y la disponibilidad de materiales y tecnologías en la región. A continuación, se presenta una evaluación detallada de cada tecnología, asignándoles un valor de 1 a 10, donde 10 indica la mayor accesibilidad y asequibilidad.

Bloques de Suelo Cemento: Los bloques de suelo cemento son generalmente accesibles y económicos, especialmente cuando se utilizan materiales locales. La disponibilidad de estos bloques depende de los recursos locales, como la tierra y la capacidad de producir cemento en la región. La producción local de bloques de suelo cemento no solo reduce los costos de transporte y logística, sino que también fomenta el empleo local y el desarrollo económico. Además, la tecnología es fácil de implementar y no requiere maquinaria altamente especializada, lo que facilita su adopción en áreas rurales. **Valor Asignado:** 9

Ladrillos de Geopolímero

Los ladrillos de geopolímero, hechos a partir de materiales geopoliméricos como las cenizas volantes, son más costosos que los ladrillos tradicionales, pero ofrecen ventajas significativas en términos de durabilidad y sostenibilidad. La accesibilidad de estos ladrillos depende de la disponibilidad local de materias primas industriales. En Chiriguaná, la implementación de esta tecnología puede estar condicionada a la cercanía de fuentes de cenizas volantes y la capacidad local para procesarlas. **Valor Asignado: 6**

Construcción Modular

La construcción modular es asequible debido a la menor mano de obra y tiempo de construcción necesarios. Al fabricar componentes en un entorno controlado de fábrica, se minimiza el desperdicio de materiales y se optimiza el uso de recursos. Sin embargo, su accesibilidad puede estar limitada en áreas rurales sin proveedores locales. Fomentar la instalación de fábricas modulares locales podría ser una solución para mejorar la accesibilidad.

Valor Asignado: 7

Steel Framing

El steel framing tiene un costo comparable a los métodos tradicionales de construcción, con beneficios a largo plazo en durabilidad y resistencia. Sin embargo, requiere proveedores

especializados, lo que puede afectar su accesibilidad en áreas rurales. En Chiriguana, la formación de mano de obra local y la creación de asociaciones con proveedores especializados podrían mejorar la viabilidad de esta tecnología. **Valor Asignado: 8**

Materiales de Construcción Reciclados

El uso de materiales de construcción reciclados promueve la conservación de recursos y puede ser una opción asequible y sostenible. Los costos de estos materiales varían, pero generalmente son más bajos si se obtienen localmente. Incentivar el reciclaje de materiales de construcción podría reducir costos y mejorar la accesibilidad a materiales sostenibles. **Valor Asignado: 8**

Contenedores de Envío Reciclados

El uso de contenedores de envío reciclados en la construcción es económico y ofrece una solución robusta y duradera. Sin embargo, puede implicar costos adicionales por modificaciones necesarias para adaptarlos a viviendas o espacios comerciales. Además, la accesibilidad puede estar limitada en áreas sin infraestructura logística adecuada. La adaptación de esta tecnología podría requerir inversiones en infraestructura logística y capacitación especializada. **Valor Asignado: 5**

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)

La construcción con materiales de tierra como adobe y tapial es altamente accesible y de bajo costo, especialmente en áreas donde la tierra es abundante. Estos métodos de construcción son tradicionales en muchas regiones y no requieren maquinaria avanzada, lo que facilita su implementación. En Chiriguaná, la promoción de estas técnicas podría ser una solución viable para el desarrollo de viviendas sostenibles y asequibles. **Valor Asignado: 10**

Tabla 16

Resumen de valores asignados 4

Tecnología de Construcción	Valor de Accesibilidad y Asequibilidad (1-10)
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	9
Bloques de Suelo Cemento	9
Materiales de Construcción Reciclados	8
Steel Framing	8
Ladrillos de Geopolímero	6
Construcción Modular	6
Contenedores de Envío Reciclados	5

Esta evaluación proporciona una visión integral sobre la accesibilidad y asequibilidad de diversas tecnologías de construcción en el contexto de Chiriguaná. La asignación de valores permite identificar las tecnologías más viables y accesibles para la comunidad local, promoviendo soluciones sostenibles y económicas.

Calidad de Vida y Bienestar: Este criterio analiza cómo las diferentes tecnologías de construcción impactan la calidad de vida y el bienestar de los residentes. Se consideran factores como el confort térmico, la salud y seguridad, y la integración en el entorno local.

Bloques de Suelo Cemento: Los bloques de suelo cemento proporcionan una buena calidad de vida debido a sus propiedades térmicas y acústicas. La incorporación de materiales locales y residuos industriales mejora la sostenibilidad y reduce el impacto ambiental. Estos bloques son resistentes y duraderos, lo que contribuye a la seguridad estructural de las viviendas.

Valor Asignado: 9

Paneles Resistentes al Calor: Estos paneles mejoran significativamente el confort térmico al reducir la transferencia de calor, lo que contribuye a un ambiente interior más agradable y saludable. Además, los ahorros energéticos a largo plazo pueden mejorar el bienestar económico de los residentes. **Valor Asignado:** 9

Ladrillos de Geopolímero: Los ladrillos de geopolímero ofrecen una alta durabilidad y resistencia, lo que mejora la seguridad estructural. También tienen buenas propiedades térmicas, lo que contribuye al confort de los habitantes. Su producción sostenible reduce el impacto ambiental, beneficiando la salud pública y el entorno. **Valor Asignado:** 8

Construcción Modular: La construcción modular permite un control de calidad superior en fábrica, lo que se traduce en viviendas bien aisladas y confortables. Además, la rapidez en la construcción reduce el tiempo de exposición a condiciones adversas durante el proceso. Sin embargo, la percepción de calidad puede variar entre las comunidades. **Valor Asignado:** 7

Steel Framing: El steel framing proporciona estructuras seguras y duraderas, con buena resistencia a desastres naturales, al integrar sistemas de aislamiento mejoran significativamente

el confort térmico al reducir la transferencia de calor, lo que contribuye a un ambiente interior más agradable y saludable. Además, los ahorros energéticos a largo plazo pueden mejorar el bienestar económico de los residentes. **Valor Asignado: 10**

Materiales de Construcción Reciclados: El uso de materiales reciclados en la construcción contribuye a la sostenibilidad y reduce el impacto ambiental, lo que tiene beneficios directos para la salud pública. Estos materiales también pueden proporcionar buenos niveles de confort térmico y acústico, aunque su calidad puede variar. **Valor Asignado: 7**

Contenedores de Envío Reciclados: Los contenedores de envío reciclados ofrecen una solución duradera y resistente. Con el aislamiento adecuado, pueden proporcionar un buen confort térmico. Sin embargo, la adaptación para uso residencial puede requerir modificaciones significativas para cumplir con los estándares de calidad y bienestar. **Valor Asignado: 6**

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial): La construcción con materiales de tierra proporciona una excelente regulación térmica, creando ambientes interiores confortables y saludables. Estos materiales también tienen buenas propiedades acústicas y son altamente sostenibles. Sin embargo, pueden ser más vulnerables a desastres naturales. **Valor Asignado: 8**

Tabla 17*Resumen de valores asignados 5*

Tecnología de Construcción	Calidad y bienestar de Vida (1-10)
Steel Framing	10
Bloques de Suelo Cemento	9
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	8
Ladrillos de Geopolímero	8
Construcción Modular	7
Materiales de Construcción Reciclados	7
Contenedores de Envío Reciclados	6

Esta evaluación proporciona una visión integral sobre cómo diversas tecnologías de construcción impactan la calidad de vida y el bienestar de los residentes en Chiriguaná. La asignación de valores permite identificar las tecnologías que ofrecen mayores beneficios en términos de confort, salud y sostenibilidad.

Aceptación Social

Este criterio evalúa la preferencia y aceptación de las diferentes tecnologías de construcción por parte de la comunidad de Chiriguaná. Basado en las encuestas realizadas, se ha medido el grado de aceptación comunitaria para cada tecnología, lo que es crucial para garantizar el éxito y la adopción de las soluciones propuestas.

Paneles Resistentes al Calor: Esta tecnología ha sido bien recibida por la comunidad debido a sus beneficios en eficiencia energética y confort térmico. La comunidad valora los ahorros a largo plazo en costos de climatización, lo que ha llevado a una alta aceptación.

Valor Asignado: 10

Steel Framing: La comunidad ha mostrado una alta aceptación hacia el steel framing debido a su durabilidad y resistencia. La percepción positiva sobre su modernidad ha contribuido a esta alta valoración, además esta tecnología ha sido bien recibida por la comunidad debido a sus beneficios en eficiencia energética y confort térmico. La comunidad valora los ahorros a largo plazo en costos de climatización, lo que ha llevado a una alta aceptación. **Valor Asignado:** 10

Bloques de Suelo Cemento: Los bloques de suelo cemento son bien recibidos debido a su accesibilidad, bajo costo y el uso de materiales locales. La comunidad valora la familiaridad y la facilidad de manejo de esta tecnología. **Valor Asignado:** 6

Construcción Modular: La construcción modular ha recibido una aceptación baja debido a la percepción de ser una solución menos tradicional y más industrial. Sin embargo, su rapidez de implementación y eficiencia tienen el potencial de mejorar su aceptación con el tiempo. **Valor Asignado:** 3

Contenedores de Envío Reciclados: La comunidad ha mostrado resistencia hacia el uso de contenedores de envío reciclados, principalmente debido a preocupaciones sobre su apariencia y calidad percibida. Esto ha resultado en una baja aceptación. **Valor Asignado:** 2

Ladrillos de Geopolímero: Aunque sostenibles y duraderos, los ladrillos de geopolímero no son bien conocidos por la comunidad, lo que ha resultado en una baja aceptación. La comunidad necesita más información y demostraciones para aumentar su confianza en esta tecnología. **Valor Asignado:** 2

Materiales de Construcción Reciclados: La aceptación de materiales de construcción reciclados es baja debido a la falta de familiaridad y la percepción de calidad variable. La comunidad necesita más educación y ejemplos prácticos para aumentar la confianza en esta opción. **Valor Asignado:** 2

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial): Aunque sostenibles y utilizando materiales locales, estas técnicas tradicionales enfrentan una baja aceptación en Chiriguaná debido a percepciones de baja durabilidad y modernidad. **Valor Asignado:** 1.

Tabla 18

Resumen de valores Asignados 6

Tecnología de Construcción	Aceptación social (1-10)
Steel Framing	10
Bloques de Suelo Cemento	6
Construcción Modular	3
Contenedores de Envío Reciclados	2
Ladrillos de Geopolímero	2
Materiales de Construcción Reciclados	2
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	1

Esta evaluación proporciona una visión integral sobre cómo diversas tecnologías de construcción son percibidas y aceptadas por la comunidad de Chiriguaná. Entender estas preferencias y niveles de aceptación es crucial para garantizar el éxito y la adopción de las soluciones propuestas.

Inclusión y Participación Comunitaria: Este criterio evalúa cómo las diferentes tecnologías de construcción fomentan la inclusión y participación comunitaria, considerando aspectos como la capacitación de la mano de obra local, la creación de empleo y la integración de las comunidades en el proceso de construcción.

Bloques de Suelo Cemento: La tecnología de bloques de suelo cemento puede fomentar significativamente la participación comunitaria y la inclusión. La producción de estos bloques puede realizarse a nivel local, involucrando a los residentes en el proceso de fabricación y construcción. Esto no solo crea empleo, sino que también capacita a la mano de obra local en nuevas habilidades. **Valor Asignado: 8**

Ladrillos de Geopolímero: La fabricación de ladrillos de geopolímero puede involucrar a la comunidad en el proceso productivo, especialmente si se utilizan materiales industriales de desecho locales. La capacitación en técnicas de fabricación puede generar empleo y desarrollar habilidades técnicas valiosas. Sin embargo, esta tecnología presenta desafíos debido a la necesidad de procesos industriales especializados, los cuales actualmente no están disponibles en Chiriguaná. **Valor Asignado: 5**

Construcción Modular: La construcción modular, al realizarse en gran parte en fábricas, puede limitar la participación directa de la comunidad local. No obstante, la instalación de los módulos en el sitio puede involucrar a la mano de obra local, y la creación de fábricas de módulos en la región podría aumentar la inclusión y el empleo. **Valor Asignado:** 7

Steel Framing: El steel framing requiere conocimientos especializados para su instalación, lo que puede limitar la participación comunitaria directa. Sin embargo, con la capacitación adecuada, los residentes locales pueden aprender a trabajar con esta tecnología, mejorando sus habilidades y empleabilidad. **Valor Asignado:** 7

Materiales de Construcción Reciclados: El uso de materiales de construcción reciclados puede involucrar a la comunidad en actividades de recolección, clasificación y procesamiento de materiales reciclados. Esto fomenta la inclusión y crea oportunidades de empleo local, además de sensibilizar a la comunidad sobre la sostenibilidad. **Valor Asignado:** 8

Contenedores de Envío Reciclados: La adaptación de contenedores de envío reciclados para viviendas puede requerir conocimientos técnicos especializados, pero también ofrece oportunidades para la participación comunitaria en la recolección y preparación de los contenedores. La formación en técnicas de modificación puede aumentar la empleabilidad local. **Valor Asignado:** 6

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial): La construcción con materiales de tierra como adobe y tapial es altamente inclusiva, ya que utiliza técnicas tradicionales que son bien conocidas por las comunidades locales. Esto permite una amplia participación comunitaria y la

transferencia de conocimientos ancestrales, además de generar empleo local. **Valor Asignado:**

10.

Tabla 19

Resumen de Valores Asignados en el criterio de Inclusión y participación comunitaria

Tecnología de Construcción	Inclusión y participación comunitaria (1-10)
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	10
Bloques de Suelo Cemento	9
Materiales de Construcción Reciclados	8
Construcción Modular	7
Steel Framing	7
Ladrillos de Geopolímero	6
Contenedores de Envío Reciclados	6

Esta evaluación proporciona una visión integral sobre cómo diversas tecnologías de construcción fomentan la inclusión y participación comunitaria en Chiriguaná. La asignación de valores permite identificar las tecnologías que ofrecen mayores oportunidades para la participación comunitaria, la capacitación y el empleo local.

Conclusiones Integradas sobre Impacto Ambiental

Para obtener una visión integrada del impacto ambiental de cada tecnología de construcción, se realiza la sumatoria de los valores asignados en los dos criterios evaluados: reducción de huella de carbono y conservación de recursos.

Tabla 20

Impacto ambiental reducción de huella de carbono y conservación de recursos

Tecnología de Construcción	Valor de Reducción de CO₂e (1-10)	Valor de Conservación de recursos (1-10)	Valor de Biodiversidad y ecosistema (1-10)	Total (Sumatoria)
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	10	9	5	24
Bloques de Suelo Cemento	8	8	7	23
Materiales de Construcción Reciclados	6	8	8	22
Ladrillos de Geopolímero	7	8	7	22
Steel Framing	6	7	7	20
Construcción Modular	5	7	6	18
Contenedores de Envío Reciclados	4	6	4	14

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial): Esta tecnología obtiene el puntaje más alto en la evaluación total (24/30), destacándose en la reducción de CO₂e (10/10) y la conservación de recursos (9/10). Su huella de carbono es muy baja (14 kg CO₂e/tonelada), y es altamente

eficiente en la conservación de recursos, utilizando materiales locales y técnicas sostenibles. Esto la convierte en una opción ideal para minimizar el impacto ambiental en proyectos de construcción, aunque su impacto en la biodiversidad y ecosistema es moderado (5/10).

Bloques de Suelo Cemento: Con una puntuación total de 23/30, esta tecnología es eficiente tanto en la reducción de huella de carbono (8/10) como en la conservación de recursos (8/10), y tiene un buen valor en biodiversidad y ecosistema (7/10). Los bloques de suelo cemento integran materiales locales y subproductos industriales, lo que reduce las emisiones y promueve la sostenibilidad.

Materiales de Construcción Reciclados: Con una puntuación de 22/30, los materiales de construcción reciclados contribuyen significativamente a la conservación de recursos (8/10) y a la biodiversidad y ecosistema (8/10), aunque su reducción de CO₂e es menor (6/10) con una huella de carbono relativamente alta (300 kg CO₂e/tonelada). Su capacidad para reutilizar materiales reduce la necesidad de nuevos recursos.

Ladrillos de Geopolímero: Esta tecnología obtiene una puntuación total de 22/30. Los ladrillos de geopolímero tienen un buen equilibrio entre la reducción de CO₂e (7/10), conservación de recursos (8/10) y biodiversidad y ecosistema (7/10), ofreciendo ventajas significativas en términos de durabilidad y sostenibilidad.

Steel Framing: Con una puntuación de 20/30, el steel framing ofrece ventajas en términos de durabilidad y resistencia, con buenos valores en conservación de recursos (7/10) y

biodiversidad y ecosistema (7/10), pero su reducción de CO₂e es menor (6/10) con una huella de carbono relativamente alta (370 kg CO₂e/tonelada). Además, el proceso de fabricación del acero puede ser intensivo en el uso de recursos.

Construcción Modular: Con una puntuación de 18/30, la construcción modular es eficiente en términos de conservación de recursos (7/10) y tiene un impacto moderado en biodiversidad y ecosistema (6/10), aunque su reducción de CO₂e es baja (5/10). Su impacto ambiental puede variar dependiendo de los materiales y procesos utilizados en la fabricación de los módulos.

Contenedores de Envío Reciclados: Esta tecnología obtiene el puntaje más bajo en la evaluación total (14/30), debido a su baja puntuación en reducción de CO₂e (4/10) y biodiversidad y ecosistema (4/10), aunque tiene un valor moderado en conservación de recursos (6/10). La reutilización de contenedores de envío puede ser sostenible en algunos contextos, pero los costos ambientales asociados a su modificación y transporte pueden ser significativos debido a su alta huella de carbono (6,475 kg CO₂e/contenedor).

Conclusiones integradas sobre impacto social

Para obtener una visión integrada del impacto social de cada tecnología de construcción, se realiza la sumatoria de los valores asignados en los tres criterios evaluados: accesibilidad y asequibilidad, calidad de vida y bienestar, e inclusión y participación comunitaria

Tabla 21*Impacto Social*

Tecnología de Construcción	Valor de Accesibilidad y Asequibilidad (1-10)	Calidad y bienestar (1-10)	Aceptación Comunitaria (1-10)	Inclusión y participación comunitaria (1-10)	Total (Sumatoria)
Steel Framing	7	10	10	7	34
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	9	9	1	10	29
Bloques de Suelo Cemento	9	8	4	9	30
Ladrillos de Geopolímero	8	8	3	8	27
Construcción Modular	7	8	3	7	25
Materiales de Construcción Reciclad	8	7	1	8	24
Contenedores de Envío Reciclad	6	6	1	7	20

Steel Framing: Con una puntuación total de 34/40, el steel framing proporciona estructuras seguras y duraderas, con una buena aceptación comunitaria (10/10) y calidad de vida

y bienestar (10/10). Requiere conocimientos especializados, lo que puede limitar la inclusión y participación comunitaria (7/10), pero es altamente valorado por su durabilidad y resistencia.

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial): Esta tecnología obtiene una puntuación total de 29/40, destacándose en los criterios de accesibilidad y asequibilidad (9/10), calidad de vida y bienestar (9/10), y participación comunitaria (10/10). Su uso de técnicas tradicionales facilita la transferencia de conocimientos y la creación de empleo local, aunque su aceptación comunitaria es más baja en comparación con otras tecnologías (1/10).

Bloques de Suelo Cemento: Con una puntuación total de 30/40, esta tecnología es accesible y asequible (9/10), especialmente cuando se utilizan materiales locales. Proporciona una buena calidad de vida y bienestar (8/10) y fomenta la inclusión y participación comunitaria mediante la producción local y la capacitación de la mano de obra (9/10). Sin embargo, su aceptación comunitaria es moderada (4/10).

Ladrillos de Geopolímero: Esta tecnología obtiene una puntuación total de 27/40. Aunque más costosos que los ladrillos tradicionales, ofrecen ventajas en términos de durabilidad y sostenibilidad. Los ladrillos de geopolímero también involucran a la comunidad en su producción, promoviendo la inclusión y participación comunitaria (8/10). Su aceptación comunitaria es moderada (3/10) y proporcionan una buena calidad de vida y bienestar (8/10).

Construcción Modular: Con una puntuación de 25/40, la construcción modular es asequible y eficiente (7/10), aunque su impacto en la inclusión y participación comunitaria puede

estar limitado por la producción en fábricas (7/10). La instalación de módulos en el sitio puede involucrar a la mano de obra local, aunque su aceptación comunitaria es moderada (3/10). Proporciona una buena calidad de vida y bienestar (8/10).

Materiales de Construcción Reciclados: Con una puntuación de 24/40, estos materiales son accesibles y sostenibles (8/10), promoviendo la conservación de recursos y la creación de empleo local. Sin embargo, su aceptación comunitaria es baja (1/10), lo que puede limitar su implementación. Proporcionan una calidad de vida y bienestar moderada (7/10) y fomentan la inclusión y participación comunitaria (8/10).

Contenedores de Envío Reciclados: Con una puntuación de 20/40, esta tecnología es económica y ofrece una solución duradera (6/10). Sin embargo, puede requerir modificaciones significativas y conocimientos técnicos especializados para adaptarse a viviendas, limitando su impacto en la inclusión comunitaria (7/10). Su aceptación comunitaria también es baja (1/10) y proporciona una calidad de vida y bienestar moderada (6/10).

4.2.3 Selección de Tecnologías para el Desarrollo del Proyecto

En esta sección se presenta la selección de tecnologías de construcción para el desarrollo del proyecto, basada en la evaluación integral de los criterios sociales y ambientales previamente definidos. Además, se han tenido en cuenta estudios de caso y entrevistas a expertos en construcción sostenible. La evaluación incluye aspectos de accesibilidad y asequibilidad, calidad

de vida y bienestar, inclusión y participación comunitaria, reducción de huella de carbono y conservación de recursos.

Se ha realizado una sumatoria de los puntajes obtenidos en cada criterio para proporcionar una visión holística del impacto de cada tecnología. La siguiente tabla resume la clasificación final basada en la sumatoria de los criterios sociales y ambientales.

Tabla 22

Clasificación final criterios sociales y ambientales

Tecnología de Construcción	Total, Impacto social	Total, Impacto ambiental	Total (Sumatoria)
Steel Framing	34	20	54
Bloques de Suelo Cemento	30	23	53
Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)	29	24	53
Ladrillos de Geopolímero	26	22	48
Materiales de Construcción Reciclados	24	14	38
Construcción Modular	25	18	43
Contenedores de Envío Reciclados	20	14	34

Selección de Tecnologías

Steel Framing con Paneles de Aislamiento Térmico La integración de Steel Framing con paneles de aislamiento térmico ha sido seleccionada tras un exhaustivo análisis de su impacto social y ambiental. Esta solución integrada se destaca por su capacidad para mejorar significativamente la calidad de vida y el bienestar de los residentes. Gracias a las excepcionales propiedades térmicas de los paneles, se reduce la necesidad de climatización artificial, proporcionando un entorno más confortable y sostenible. La alta aceptación comunitaria indica que esta tecnología integrada es altamente valorada por los habitantes de Chiriguaná.

Ventajas del Sistema Integrado de Steel Framing con Paneles de Aislamiento Térmico

Este sistema integrado ofrece múltiples beneficios que mejoran la experiencia residencial y el impacto ambiental:

Durabilidad y Estabilidad: Ofrece una estructura robusta que garantiza la durabilidad y la estabilidad a largo plazo de las construcciones.

Optimización de la Eficiencia Energética: Mejora el confort interno y reduce la necesidad de climatización artificial, lo que minimiza las pérdidas de energía.

Construcción Eficiente: La prefabricación de componentes permite una construcción rápida y eficiente.

Sostenibilidad: Contribuye a la sostenibilidad mediante la reducción del consumo de energía y el uso de materiales reciclables.

Flexibilidad de Diseño: Permite configuraciones personalizadas y facilita futuras adaptaciones en el diseño arquitectónico.

La implementación de Steel Framing con paneles de aislamiento térmico como un sistema único ofrece una solución integral que maximiza los beneficios tanto sociales como ambientales, convirtiéndose en una opción ideal para la mejora de la infraestructura y la calidad de vida en Chiriguaná.

4.3 Realizar un análisis financiero detallado de las tecnologías de construcción no convencionales seleccionadas, abarcando tanto el costo de implementación como la rentabilidad a largo plazo, con el propósito de fomentar la adopción de prácticas de construcción sostenible económicamente viables en Chiriguaná, Cesar.

4.3.1 Resumen Ejecutivo

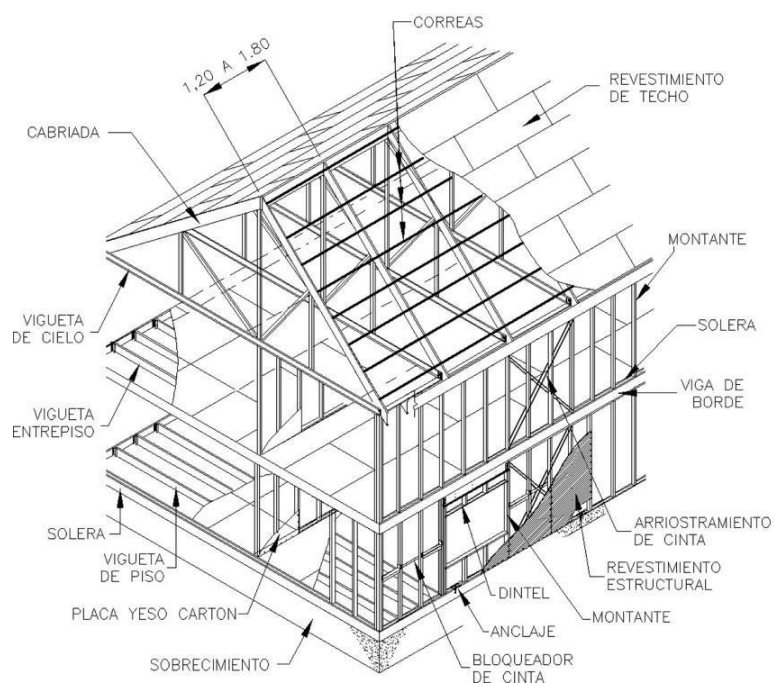
Este análisis tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad económica para implementar el sistema constructivo Steel Framing en Chiriguaná, Cesar, con el objetivo de integrar prácticas de construcción avanzadas y sostenibles en la región. Como se logró evidenciar en los capítulos anteriores uno de los beneficios más significativos de este sistema para el contexto específico de Chiriguaná es la incorporación de paneles de aislamiento térmico, que optimizan la eficiencia energética de las edificaciones adaptándolas a la variabilidad climática del área, mejorando significativamente el confort interior y adicionalmente, su rapidez en la

ejecución de obras, precisión en la fabricación de componentes y una notable reducción en la generación de residuos debido a su enfoque en la prefabricación y montaje en sitio.

Basado en el análisis detallado proporcionado por José Luis Lamus Rodríguez en su tesis "Análisis de viabilidad económica: Sistema constructivo Light Steel Framing en Colombia" (Rodríguez, 2015) este capítulo detalla los costos y los beneficios asociados con la adopción del Steel Framing, considerando su aplicabilidad y rentabilidad para el municipio de Chiriguaná Cesar. La finalidad es proveer una base de datos sólida y científica que respalde la integración de este sistema constructivo como una solución estándar, favoreciendo el desarrollo urbano sostenible y la innovación en técnicas constructivas en el municipio.

4.3.2 Proceso constructivo y composición.

El sistema constructivo Light Steel Framing (LSF) utiliza una estructura basada en perfiles de acero ligero, que son fabricados mediante el proceso de formado en frío. Estos perfiles, generalmente en formas de 'C' y 'U', están hechos de acero galvanizado, lo que les proporciona durabilidad y resistencia contra la corrosión. Estos perfiles son esenciales en la conformación de paneles estructurales y no estructurales, vigas secundarias, vigas de piso y cabios de techo. La eficiencia del LSF en la distribución de cargas se logra mediante el uso de estos perfiles más ligeros y de menor tamaño como se ve en la figura 6, colocados a intervalos más cortos en comparación con los sistemas constructivos tradicionales que emplean elementos verticales más grandes y pesados (Sarmanho Freitas & Moraes de Castro, 2007).

Figura 6*Construcción y composición*

Nota. (Manual de ingeniería de Steel framing. Asociación latinoamericana del acero, 2007)

Desde el punto de vista estructural, el sistema LSF se beneficia de la alta resistencia estructural y estabilidad proporcionadas por el acero galvanizado frente a agentes corrosivos. Esta característica permite una transferencia efectiva de todas las cargas—vivas, muertas y adicionales—que impactan sobre la edificación (Lamus, 2015).

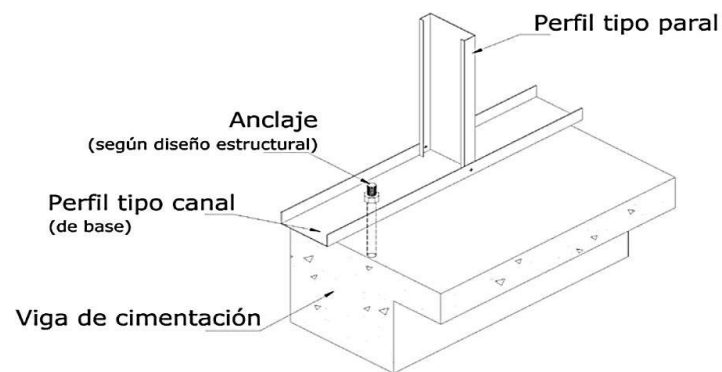
Componentes:

- a) **Cimentación:** La cimentación es esencial en cualquier edificación porque asegura la estabilidad y soporte al distribuir las cargas al terreno. Especialmente en el sistema constructivo Steel Framing, que es ligero, es crucial realizar análisis detallados del suelo y las cargas estructurales para seleccionar la cimentación adecuada. José Luis Lamun

(2015), en su estudio, enfatiza la importancia de evaluar meticulosamente las cimentaciones en este contexto para asegurar la durabilidad y seguridad de la estructura, optimizando así la eficiencia del sistema y protegiendo la inversión (ver figura 7).

Figura 7

Cimentación Para proyecto de Steel Framing en Chiriguaná



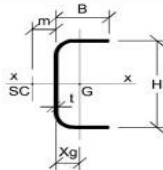
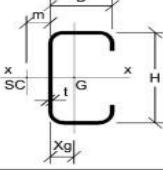
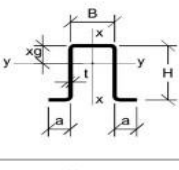
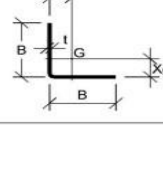
Nota. (Lamus Rodriguez, 2015)

La imagen muestra un diagrama detallado de un ensamblaje de cimentación utilizado en un proyecto de construcción con Steel Framing en Chiriguaná. Se ilustra una viga de cimentación de hormigón, sobre la cual se monta un perfil tipo canal de base. Este perfil sirve de base para el anclaje de un perfil tipo paral, que se eleva verticalmente. El anclaje, según el diseño estructural, se muestra detalladamente conectando el perfil tipo paral con el perfil tipo canal, asegurando la unión entre la estructura de acero y la base de hormigón. El diseño proporciona una visión clara de cómo se integran los diferentes componentes estructurales para formar una base sólida y estable para la construcción en Steel Framing.

b) **Perfiles:** Los perfiles fabricados en acero galvanizado, moldeados en frío, tienen grosores que oscilan entre 0.8 y 3.2 mm, con dimensiones de las alas variando de 30 a 90 mm y alturas que se extienden de 35 a 350 mm, dependiendo de los requerimientos estructurales específicos a los que están destinados. A veces, estos perfiles incluyen perforaciones para facilitar la incorporación de sistemas de instalaciones. La Figura 8 ilustra un corte transversal de estos perfiles galvanizados junto con sus aplicaciones más comunes.

Figura 8

Perfiles Usados en Light Steel Framing

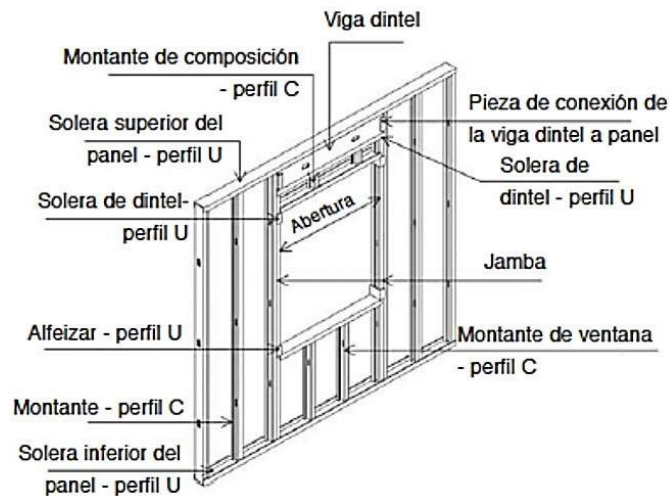
APLICACION	MARCAS	DESIGNACION	SECCION
SOLERAS PERFILES U MINICANALES	$S_1-S_2-S_3-S_4$ $U_1-U_2-U_3-U_4-U_5$ $MC_1-MC_2-MC_3$	C HxBxt	
MONTANTES VIGAS	$M_1-M_2-M_3-M_4$ $V_1-V_2-V_3-V_4-V_5$	C HxBxDxt	
MINIGALERA	$G_1-G_2-G_3$	G HxBxaXt	
ANGULO	$A_1-A_2-A_3$	A Bxt	
CINTA		Bxt	

Nota. (Sarmanho Freitas & Moraes de Castro, 2007)

c) Paneles de muro: Los muros que conforman el esqueleto del edificio se conocen como paneles estructurales o autoportantes. Están formados por numerosos perfiles galvanizados, denominados montantes, que son extremadamente ligeros y se colocan a una distancia de 400 o 600 mm uno del otro. Esta medida se establece según los cálculos estructurales y define la modulación del diseño. Estos paneles tienen el papel de repartir las cargas de manera uniforme y conducir las hacia el suelo (Lamus Rodriguez, 2015)

Figura 9

Sección típica de muros



Nota. (Lamus Rodriguez, 2015)

La figura 9 muestra un diagrama en perspectiva de una sección típica de muros contruidos con perfiles de acero, típicamente usados en sistemas de construcción ligera, como el Steel Framing. Los componentes principales están etiquetados y organizados de manera que ilustran la estructura interna y las conexiones entre los diferentes elementos:

- **Viga dintel:** Ubicada en la parte superior del muro, proporciona soporte estructural sobre las aberturas, como ventanas o puertas.
- **Pieza de conexión de la viga dintel a panel:** Conecta la viga dintel con los paneles verticales del muro, asegurando una distribución uniforme de las cargas.
- **Solera de dintel - perfil U:** Se ubica justo debajo de la viga dintel y actúa como soporte para el marco de la ventana y el panel vertical.
- **Montante de ventana - perfil C:** Estos perfiles en forma de 'C' están situados a los lados de la ventana, formando el marco vertical del hueco.
- **Jamba:** Se refiere a los lados verticales del marco de la ventana.
- **Perfil U:** Parte inferior del marco de la ventana, también realizado con un perfil en forma de U.
- **Solera superior del panel - perfil U y Solera inferior del panel - perfil U:** Estos son los perfiles horizontales que forman la parte superior e inferior del panel del muro, respectivamente.
- **Montante de composición - perfil C:** Perfiles verticales que forman la estructura esencial del muro, colocados a intervalos regulares para soporte.
- **Abertura:** Espacio en el muro destinado para la instalación de elementos como puertas o ventanas.

d) Cubierta: Para este proyecto se utilizará una cubierta inclinada, Una cubierta inclinada construida con el sistema Steel Framing utiliza perfiles de acero galvanizado, ofreciendo una alternativa moderna a las estructuras de techo tradicionales hechas de madera. Este tipo de cubierta se estructura mediante vigas o trusses, que son armazones de acero dispuestos

de manera que se enfrentan y apoyan en los montantes de las paredes de carga en un extremo. En el extremo donde las vigas se encuentran, se unen mediante una viga principal conocida como "cumbreira". Esta viga cumbreira está compuesta por perfiles en forma de "C" y "U", proporcionando soporte central y estabilidad a toda la estructura del techo inclinado (José Luis Lamus, 2015).

e) Revestimiento: En este apartado se analiza el Sistema EIFS (Exterior Insulation and Finish System) en Steel Framing, una técnica de aislamiento y acabado exterior que se utiliza ampliamente en construcciones con armazón de acero. Este sistema proporciona tanto aislamiento térmico excepcional como un acabado estético exterior. Se considera una solución integral para el revestimiento de edificaciones, combinando capas de materiales aislantes y de acabado para mejorar la eficiencia energética y la apariencia de las estructuras. A continuación, se detalla cómo funciona el sistema EIFS en el contexto del Steel Framing.

Componentes del Sistema EIFS

a) **Placa OSB:** Se coloca inicialmente como la base sólida directamente sobre los paneles externos del armazón de acero, proporcionando un soporte estructural robusto para las capas subsiguientes.

- b) **Capa de Aislamiento (EPS):** Sobre la placa OSB se coloca una capa de poliestireno expandido (EPS). Este material aislante se adhiere firmemente a la superficie exterior del edificio y es la base sobre la cual se aplican las siguientes capas.
- c) **Malla de Refuerzo:** Sobre la capa de aislamiento se coloca una malla de refuerzo, usualmente hecha de fibra de vidrio, que se incrusta en un mortero adhesivo. Esta malla ayuda a fortalecer la superficie, proporcionando una base durable para el revestimiento final y protegiendo el aislamiento de impactos y daños físicos.
- d) **Base Coat (Capa Base):** Se aplica sobre la malla de refuerzo. Esta capa contribuye a la integridad estructural del sistema y sirve de sustrato para la capa de acabado.
- e) **Acabado Final:** La capa exterior del sistema EIFS puede ser un revestimiento acrílico o similar, que se aplica para dar el aspecto final deseado. Este acabado no solo proporciona la estética, sino que también es impermeable y resistente a las condiciones meteorológicas, protegiendo las capas subyacentes y el edificio en general.

4.3.3 Normatividad

En Colombia, el Steel Framing es un sistema de construcción que está ganando popularidad, pero aún no cuenta con una regulación específica dentro del marco normativo nacional en lo que respecta a su aplicación completa. La Norma Sismo Resistente NSR-10, que es la principal referencia para el diseño y construcción de edificaciones en el país, establece lineamientos generales para estructuras de acero, pero no incluye un capítulo dedicado

exclusivamente al Steel Framing. Esto significa que los proyectos que emplean este sistema deben ser evaluados bajo las disposiciones generales aplicables a las construcciones en acero, sin una normativa detallada que aborde las especificidades del Steel Framing.

No obstante, existe la Norma Técnica Colombiana (NTC) 3849, que regula los perfiles estructurales conformados en frío de acero galvanizado. Esta norma establece las especificaciones para la fabricación de estos perfiles, abarcando aspectos como las propiedades mecánicas y los recubrimientos de zinc, esenciales para garantizar la durabilidad y resistencia de las estructuras construidas con este sistema. Aunque la NTC 3849 no se enfoca exclusivamente en el Steel Framing, sí proporciona directrices valiosas para la selección y uso de materiales en estos proyectos.

Ante la ausencia de una normatividad colombiana específica para todo el sistema Steel Framing, los profesionales del sector suelen recurrir a normativas internacionales reconocidas, como la AISI S100 (Especificación Norteamericana para el Diseño de Componentes Estructurales de Acero Conformado en Frío), y las especificaciones ASTM como la ASTM C955, ASTM A1003, y ASTM A653. Estas normativas internacionales complementan las directrices de la NTC 3849 y proporcionan un marco técnico robusto para asegurar que las construcciones con Steel Framing en Colombia cumplan con los estándares internacionales de calidad y seguridad.

4.3.4 Planta arquitectónica propuesta para el análisis financiero

El diseño propuesto corresponde a una vivienda unifamiliar de una planta, adaptada específicamente para los lotes típicos del municipio de Chiriguaná que en la mayoría no superan los 7 metros de ancho. Por lo tanto, el área disponible para la construcción de viviendas oscila entre 70 – 90 m². Para esta investigación se opta por unas dimensiones básicas generales de 6 metros de ancho por 14 metros de largo.

A continuación, se detallan las características y distribución de los espacios dentro de la vivienda:

Sala-Comedor: La zona de sala-comedor ocupa un espacio abierto de 2.80 metros de ancho por 4.00 metros de largo, diseñado para maximizar la multifuncionalidad y el aprovechamiento del espacio.

Alcoba Principal: Situada adyacente a la sala-comedor, esta habitación mide 3.00 metros por 3.00 metros e incluye una puerta que ofrece acceso directo a una pequeña terraza exterior.

Terraza: Ubicada frente a la alcoba principal, esta área exterior mide 3.05 metros de ancho por 1.10 metro de largo, proporcionando un espacio de relajación y contacto con el exterior.

Baño: Centralmente ubicado para facilitar el acceso desde todas las áreas de la casa, con unas dimensiones de 2.10 metros por 1.20 metros.

Segunda Alcoba: Esta habitación, destinada a ser un espacio adicional para dormitorio o estudio, mide 3.00 metros de ancho por 2.10 metros de largo.

Cocina: Localizada en la parte trasera de la vivienda, la cocina mide 3.0 metros de ancho por 3.00 metros de largo, optimizando el espacio para funcionalidades esenciales.

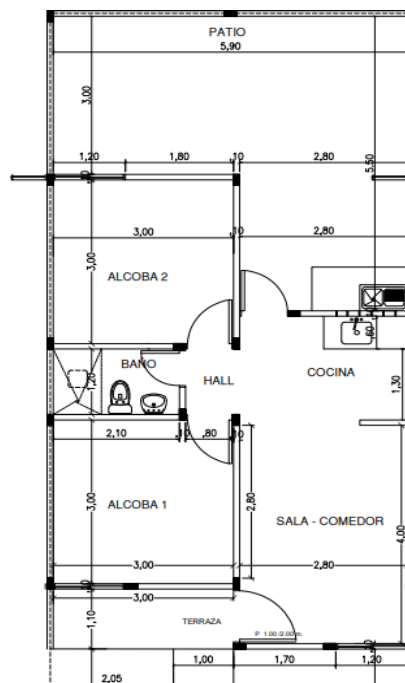
Hall: Un pasillo de 0.80 metros de ancho que facilita la conexión entre las habitaciones, el baño y la cocina.

Patio: Espacio trasero abierto de 3.00 metros de ancho por 5.90 metros de largo, diseñado para ofrecer un área de esparcimiento y actividades al aire libre.

A continuación, se presenta la figura 10 que muestra la estructura de una planta arquitectónica, la cual es fundamental para entender la distribución y organización espacial del proyecto en desarrollo. Esta representación gráfica es crucial para visualizar cómo se integran los diferentes elementos en el diseño arquitectónico.

Figura 10

Propuesta de planta arquitectónica



Una vez establecido y definido claramente el plano base de la vivienda, se presenta a continuación un presupuesto detallado que estima el costo de implementación utilizando la técnica de steel framing. Posteriormente, se evaluará la rentabilidad a largo plazo de la implementación del steel framing, considerando los costos iniciales y los beneficios derivados de su durabilidad y eficiencia energética. Este análisis busca ofrecer una perspectiva integral sobre la viabilidad económica y las ventajas de adoptar estructuras de acero en el contexto de la construcción de viviendas en el municipio de Chiriguana.

4.3.5 Desglose y análisis de costo directo

En este capítulo se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los costos directos asociados con la implementación del sistema constructivo Steel Framing en el proyecto de Chiriguana, Cesar. Este análisis se fundamenta en las características específicas del diseño arquitectónico y en los requerimientos técnicos definidos en los capítulos anteriores. El objetivo es proporcionar una evaluación precisa de los costos involucrados en cada fase de la construcción, desde los trabajos preliminares hasta la finalización de los acabados y las instalaciones.

Para lograr una estimación detallada y confiable, se procederá a desglosar y calcular los costos directos de construcción considerando los siguientes capítulos específico: preliminares, cimentación, estructura, cubierta, revestimiento, pisos y enchapes, instalaciones eléctricas, carpintería metálica, instalaciones sanitarias, aparatos sanitarios y fachada.

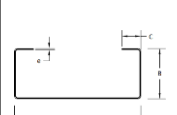
Ficha técnica perfilería estructural Steel Framing.

Este apartado está dedicado a la elaboración de la ficha técnica de la perfilería estructural utilizada en el sistema constructivo Steel Framing, se presentarán las especificaciones técnicas detalladas de los perfiles de acero, incluyendo las dimensiones, materiales y características mecánicas. Esta información es fundamental para asegurar que los componentes estructurales seleccionados sean adecuados para las condiciones específicas del proyecto en Chiriguaná, Cesar.

La ficha técnica proporcionará una base sólida para el análisis de costos y para la planificación del proceso constructivo, asegurando que todos los elementos de la perfilería estructural se integren de manera óptima en el diseño arquitectónico y cumplan con las normativas vigentes (ver figura 11, figura 12, figura 13 y figura 14)

Figura 11

Perfil industrializado C (PGC)

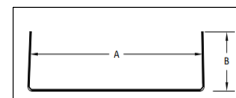


STEEL FRAMING - PERFIL INDUSTRIALIZADO "C" (PGC)														
Altura (mm)	Ancho (mm)	Labio (mm)	Espesor (mm)	Sección (cm²)	Radio (cm)	Características Mecánicas								
						Peso (kg/m)	JX (cm⁴)	JY (cm⁴)	WX (cm³)	WY P (cm³)	WY A (cm³)	IX (cm)	IY (cm)	XG (cm)
70	40	15	0,90	1,53	0,30	1,26	14,72	3,60	4,21	1,46	2,34	3,11	1,54	2,47
100	40	15	0,90	1,80	0,30	1,48	31,53	4,11	6,31	1,53	3,13	4,19	1,52	2,69
100	40	17	1,25	2,53	0,30	2,06	44,99	5,85	9,00	2,22	4,29	4,23	1,53	2,64
100	40	17	1,60	3,20	0,30	2,59	56,41	7,23	11,29	2,75	5,31	4,20	1,51	2,64
150	40	15	0,90	2,25	0,30	1,85	78,19	4,69	10,43	1,60	4,43	5,90	1,45	2,95
150	40	15	1,25	3,10	0,30	2,53	106,8	6,30	14,24	2,15	5,94	5,87	1,43	2,94
150	40	17	1,60	4,00	0,30	3,24	139,53	8,29	18,61	2,87	7,50	5,91	1,44	2,90
150	40	17	2,00	4,96	0,30	4,00	171,09	9,97	22,82	3,45	8,98	5,88	1,42	2,90
200	40	15	0,90	2,70	0,30	2,22	152,99	5,08	15,30	1,64	5,70	7,53	1,38	3,11
200	40	15	1,25	3,73	0,30	3,03	209,52	6,82	20,96	2,20	7,64	7,50	1,36	3,11
200	40	20	1,60	4,90	0,30	3,96	285,87	9,84	28,59	3,28	9,90	7,65	1,42	3,01
200	40	20	2,00	6,10	0,30	4,92	351,69	11,85	35,17	3,96	11,77	7,60	1,40	3,00
250	50	20	2,00	7,48	0,30	6,03	659,82	21,65	52,79	5,63	18,81	9,40	1,71	3,85
250	50	20	2,50	9,28	0,30	7,46	811,28	26,02	64,91	6,77	22,56	9,36	1,68	3,85
300	55	25	2,00	8,90	0,30	7,17	1124,86	32,13	75,00	7,59	25,40	11,25	1,90	4,24
300	55	25	2,50	11,03	0,30	8,87	1386,67	38,82	92,45	9,16	30,82	11,22	1,88	4,25
300	55	25	3,20	14,08	0,30	11,29	1740,11	47,33	116,01	11,25	36,69	11,12	1,84	4,21

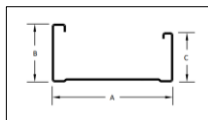
Nota. (INSUMA SUR, 2020)

Figura 12*Perfil industrializado C (PGC) / Steel Framing*

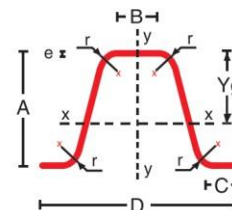
STEEL FRAMING PERIL INDUSTRIALIZADO "U" (PGU)													
Características Mecánicas													
Altura (mm)	Ancho (mm)	Labio (mm)	Espesor (mm)	Sección (cm ²)	Radio (cm)	Peso (kg/m) Galv.	JX (cm ⁴)	JY (cm ⁴)	WX (cm ³)	WY P (cm ³)	WY A (cm ³)	IX (cm)	IY (cm)
73	30	-	0,90	1,16	0,30	0,92	9,22	1,00	2,53	0,44	1,37	2,83	0,93
103	30	-	0,90	1,43	0,30	1,14	20,91	1,11	4,06	0,46	1,85	3,84	0,89
153	30	-	0,90	1,87	0,40	1,49	54,59	1,22	7,14	0,49	2,61	5,41	0,81
153	30	-	1,25	2,58	0,40	2,07	74,91	1,67	9,80	0,67	3,46	5,39	0,81
203	30	-	0,90	2,32	0,40	1,84	111,91	1,29	11,03	0,50	3,35	6,96	0,75
203	30	-	1,25	3,21	0,40	2,56	153,93	1,77	15,17	0,68	4,41	6,94	0,75

*Nota. (INSUMA SUR, 2020)***Figura 13***Ficha técnica perfil montante*

PERFILERÍA CONSTRUCCIÓN EN SECO	Dimensiones (mm)			Espesor de la chapa (mm)	Peso (kg/unidad)	Peso (kg/ml)
	A	B	C			
MONTANTE	35	35	30	0,50	1,17	0,45
				0,70	1,664	0,64
				0,90	2,106	0,81
	54	35	30	0,50	1,378	0,53
				0,70	1,95	0,75
				0,90	2,47	0,95
	70	35	30	0,50	1,534	0,59
				0,70	2,184	0,84
				0,90	2,782	1,07
	105	35	30	0,50	1,924	0,74
				0,70	2,704	1,04
				0,90	3,432	1,32

*Nota. (INSUMA SUR, 2020)***Figura 14***Ficha técnica Perfil Omega (PGO)*

PGO PERFIL OMEGA	altura alma A	ancho ala B	ancho ala C	ancho ala D	espesor s/recub. E	radios acuerdo R	área nominal	masa p/m nominal	centro gravedad	momento inercia JX	momento inercia JY	módulo resist. WX 1	módulo resist. WX 2	módulo resist. WY
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³
37 x 0,90(*)	37	31	13	106	0,9	1,41	1,29	1,01	1,94	2,5	11,82	1,28	1,42	2,23
37 x 1,25(*)	37	31	13	106	1,25	1,94	1,78	1,39	1,93	3,4	16,29	1,76	1,92	3,07
22 x 0,90(*)	22	24	13	70	0,9	1,41	0,91	0,71	1,09	0,65	3,46	0,59	0,58	0,98
12,5 x 0,90(*)	12,5	27	10	72	0,9	1,41	0,75	0,58	0,65	0,15	3,26	0,23	0,25	0,9

*Nota. (Barbieri, 2024)*

Costos materiales Perfilería estructural (Fuente estudio de mercado 2024)

En esta sección, se detallan los precios actuales de los perfiles de acero más usados en Steel framing, proporcionando una visión clara y actualizada de los costos involucrados. Este análisis permitirá evaluar con precisión el costo de los materiales en función de las especificaciones técnicas previamente descritas en el subcapítulo anterior.

El objetivo de este subcapítulo es ofrecer una base sólida para el cálculo del presupuesto total del proyecto, asegurando que la planificación financiera se realice con datos confiables y pertinentes al contexto del mercado actual. Esto es fundamental para tomar decisiones informadas sobre la viabilidad económica del uso del sistema Steel Framing en Chiriguaná, Cesar.

Tabla 23
Costos materiales

Descripción	Unidad	Valor Unitario
Perfil tipo Paral - PGC galvanizado 100x40x15 mm, e=0.85 mm	ml	\$15.339,00
Perfil tipo canal – PGU galvanizado 103x30 mm, e=0.85 mm	ml	\$12.328,00
Perfil tipo Paral- PGC galvanizado	ml	\$ 14.244.99
Perfil montante 35 x35 mm	ml	\$ 4.352.10

Análisis salario mano de obra

En esta sección se analizan los salarios actuales del personal involucrado en las distintas etapas del proceso constructivo, desde la fabricación y montaje de la perfilería estructural hasta la instalación de los acabados finales. Este análisis en la figura 15 permitirá determinar con precisión los costos laborales, contribuyendo a una estimación realista y detallada del presupuesto total del proyecto.

Figura 15*Tarifas mano de obra y prestaciones sociales 2024*

TARIFAS MANO DE OBRA Y PRESTACIONES SOCIALES 2024.					
1.-SALARIOS DE MANO DE OBRA				%	
A- Salario Minimo Legal		1,300,000			
B- Auxilio de Transporte		162,000			
C- Total Mensual		1,462,000			
D- Anual (A/30x365)		15,600,000		100.00%	
Subsidio de Transporte Anual		1,944,000		11.35%	
E- Anual con Subsidio de Transporte		17,544,000			
PRESTACIONES		BASE			
Cesantias	E	8.33%	1,730,367	10.98%	
Intereses	Cesantias	12.00%	207,644	1.32%	
Vacaciones 15 Dias	A	4.17%	650,000	4.11%	
Primas 30 Dias	C	8.33%	1,462,000	9.20%	
OTROS COSTOS					
Botas y Overol		82,500	3.00	247,500	4.09%
Seguro Colectivo	D		0.50%	78,000	0.50%
SEGURIDAD SOCIAL					
Pensiones	D	12.00%	1,872,000	12.00%	
Medicina Familiar	D	8.50%	1,326,000	8.50%	
Riesgos Profesionales	D	6.96%	1,085,760	5.60%	
APORTES SENA					
Aporte Ordinario	D	2.00%	312,000	2.00%	
F.I.C	Nota 4	18.00%	349,920	1.80%	
OTROS APORTES					
I.C.B.F	D	3.00%	468,000	3.00%	
Subsidio Familiar	D	4.00%	624,000	4.00%	
VALOR REAL DEL SALARIO			27,957,191	67.10%	
2- CALCULO DE SOBRECOSTO POR HORAS EFECTIVAS TRABAJADAS-OBREOS CON UN SALARIO MINIMO					
A- Anual con Subsidio de Transporte			27,957,191		
B- Horas Calendario Anuales	365 x 8 Hhr		2,920		
C- Horas Laborales Anuales	(52 Sem x 48 Hr)+8Hr		2,504		
	2920 Hr-((52 Dom + 18 Fiestas + 3 Permisos) x 8 Hr)				
D- Horas Habiles Anuales			2344		
E- Valor Hora Calendario	A/B		9,574	100.00%	
F- Valor Hora Laboral	A/C		11,165	116.61%	
G- Valor Hora Efectiva	A/D		11,927	124.57%	

CALCULO DE CUADRILLAS**CUADRILLA "AA" (Albañileria)**

Jornal Ayudante	1.2 Minimos	51,288
Valor Real del Jornal	215.12%	110,330
Valor Total Hr Ayudante		13,791
Jornal Oficial	2.1 Minimos	89,753
Valor Real del Jornal	209.89%	188,383
Valor Total Hr Oficial		23,548
Valor Dia Cuadrilla		298,714
Valor Hr Cuadrilla		37,339

Salida Electrica

1.55 Hr AA

CUADRILLA "BB" (Instalaciones)

Jornal Ayudante	1.2 Minimos	56,416
Valor Real del Jornal	214.77%	121,363
Valor Total Hr Ayudante		15,170
Jornal Oficial	2.1 Minimos	98,729
Valor Real del Jornal	210.59%	207,222
Valor Total Hr Oficial		25,903
Valor Dia Cuadrilla		328,585
Valor Hr Cuadrilla		41,073.11

CUADRILLA "CC" (Pintura)

Jornal Ayudante	1.2 Minimos	58,981
Valor Real del Jornal	214.77%	126,880
Valor Total Hr Ayudante		15,860
Jornal Oficial	2.1 Minimos	103,216
Valor Real del Jornal	210.59%	216,641
Valor Total Hr Oficial		27,080
Valor Dia Cuadrilla		343,521
Valor Hr Cuadrilla		42,940.07

CUADRILLA "DD" (Carpinterias)

Jornal Ayudante	1.2 Minimos	61,545
Valor Real del Jornal	214.77%	132,396
Valor Total Hr Ayudante		16,550
Jornal Oficial	2.1 Minimos	107,704
Valor Real del Jornal	210.59%	226,060
Valor Total Hr Oficial		28,258
Valor Dia Cuadrilla		358,456
Valor Hr Cuadrilla		44,807.03

Nota. (Gobernación del cesar, 2024)

Consumo de materiales Steel Framing

Se presenta una tabla que detalla el consumo de materiales por metro cuadrado para el sistema constructivo Steel Framing. Esta tabla (ver figura 16) servirá como base para la estimación de los costos unitarios, garantizando la exactitud y relevancia de los datos en el contexto específico del proyecto.

Figura 16

Consumo de materiales de construcción en seco

CONSUMO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN SECO POR m ²	ESTRUCTURA			
	Cada 0,40 m	Cada 0,48 m	Cada 0,40 m	Cada 0,48 m
	Pared Simple Placa		Media Pared Simple Placa	
Soleras de 70 mm	1 m	1 m	1 m	1 m
Montantes de 69 mm	3 m	2,50 m	3 m	2,50 m
Tornillos T1	10 unidades	8 unidades	10 unidades	8 unidades
Tornillos T2	30 unidades	26 unidades	15 unidades	13 unidades
Cinta de papel microperforada	3,30 m	3,30 m	1,65 m	1,65 m
Masilla	1,80 kg	1,80 kg	0,90 kg	0,90 kg
Fijaciones	3,50 unidades	3,50 unidades	3,50 unidades	3,50 unidades
Placas de yeso	2,05 m ²	2,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²
Material aislante	1,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²
	Cielorraso Junta Tomada		Revestimiento sobre Estructura de 35	
Soleras de 35 mm	1 m	1 m	1 m	1 m
Montantes de 34 mm	3 m	2,50 m	3 m	2,50 m
Tornillos T1	10 unidades	8 unidades	10 unidades	8 unidades
Tornillos T2	15 unidades	13 unidades	15 unidades	13 unidades
Cinta de papel microperforada	1,65 m	1,65 m	1,65 m	1,65 m
Masilla	0,90 kg	0,90 kg	0,90 kg	0,90 kg
Fijaciones	3,50 unidades	3,50 unidades	3,50 unidades	3,50 unidades
Placas de yeso	1,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²
Material aislante	1,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²	1,05 m ²

VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS			
Muros		Entrepisos	
MATERIALES POR ml DE PARED h=2,65 m SEP MONTANTES 0,40 m		MATERIALES POR ml DE SEPARACIÓN DE VIGAS 0,40 m	
PGC 100x090	8,45 ml/m	PGC 200x1,25	2,88 ml
PGU 100x090	2,60 ml/m	PGU 200x0,89	1 ml
Tornillos T1 Mecha	15 un/m	Fenólico 18 mm o Placas cementicias 15 mm	1,05 m ²
Tornillos T2 Mecha	36 un/m		
OSB de 9,5 mm	2,92 m ² /m	Tornillos T1 Mecha	5 unidades
Polietileno 200 μ	3 m ² /m	Tornillos Mecha con alas	20 unidades
Placas	2,78 m ² /m	Fielto liviano 100 mm	1,05 m ²
Rolac 100 mm x 0,40 m	2,78 m ² /m	Placas de yeso	1,05 m ²
Membrana Hidrófuga	3,25 m ² /m	PGU 100x0,90	0,70 ml

Nota. (INSUMA SUR, 2020)

4.3.6 Criterio de sostenibilidad

En este apartado, se exploran las estrategias de sostenibilidad implementadas en el diseño y construcción de la vivienda utilizando la tecnología de Steel Framing. Este enfoque representa un avance significativo en la construcción sostenible, al utilizar materiales que contribuyen a la reducción del impacto ambiental y a la gestión eficiente de residuos. La estructura de Steel Framing no solo minimiza la generación de desechos, sino que también mejora la eficiencia energética, especialmente cuando se combina con un aislamiento térmico adecuado. Este tipo de aislamiento es crucial para mantener una temperatura interior confortable, reduciendo la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración, lo que se traduce en un menor consumo energético y una disminución de la huella de carbono.

En cuanto a certificaciones de sostenibilidad, como LEED, EDGE, y CASA Colombia, estas establecen criterios específicos que refuerzan el uso de tecnologías y prácticas como el Steel Framing en la construcción de viviendas sostenibles. Por ejemplo, la certificación LEED otorga puntos por la eficiencia en el uso de materiales y la reducción de residuos, CASA Colombia, por su parte, promueve la adopción de tecnologías que reduzcan el impacto ambiental, asegurando que las construcciones cumplan con criterios nacionales de sostenibilidad.

Es importante señalar que la implementación de estos criterios de sostenibilidad puede incrementar los costos de construcción de viviendas sostenibles en Chiriguaná, Cesar. Por lo tanto, este apartado debe ser analizado cuidadosamente, considerando el impacto financiero de cada componente. Este análisis se abordará en detalle en el siguiente capítulo, donde se

desglosará el presupuesto requerido para la implementación de estas estrategias y se evaluará su viabilidad económica en el contexto del proyecto.

Como complemento a las ventajas inherentes del Steel Framing, se propone la implementación de criterios adicionales de sostenibilidad que refuercen el desempeño ambiental de la vivienda. Estos criterios incluyen la Generación de Electricidad Mediante Fuentes No Convencionales y el Uso Eficiente del Agua, ambos alineados con los estándares de las certificaciones mencionadas, lo que refuerza el compromiso con la sostenibilidad.

Generación de Electricidad Mediante Fuentes No Convencionales – Energía solar fotovoltaica

La adopción de energía solar fotovoltaica como una estrategia eficiente y sostenible para la generación de electricidad en viviendas. Utilizando paneles solares que convierten la luz solar directamente en electricidad, esta tecnología ofrece una reducción significativa en la huella de carbono y proporciona ahorros económicos a largo plazo debido a la disminución en el consumo de energía eléctrica. Además, la energía solar promueve la independencia energética y aumenta la resiliencia frente a interrupciones de la red eléctrica.

La energía solar es reconocida por certificaciones ambientales como LEED y EDGE, y no solo mejora la sostenibilidad de las construcciones, sino que también contribuye a un entorno construido más saludable y económicamente viable. Este capítulo subraya la importancia de la energía solar en la transición hacia prácticas de construcción más sostenibles.

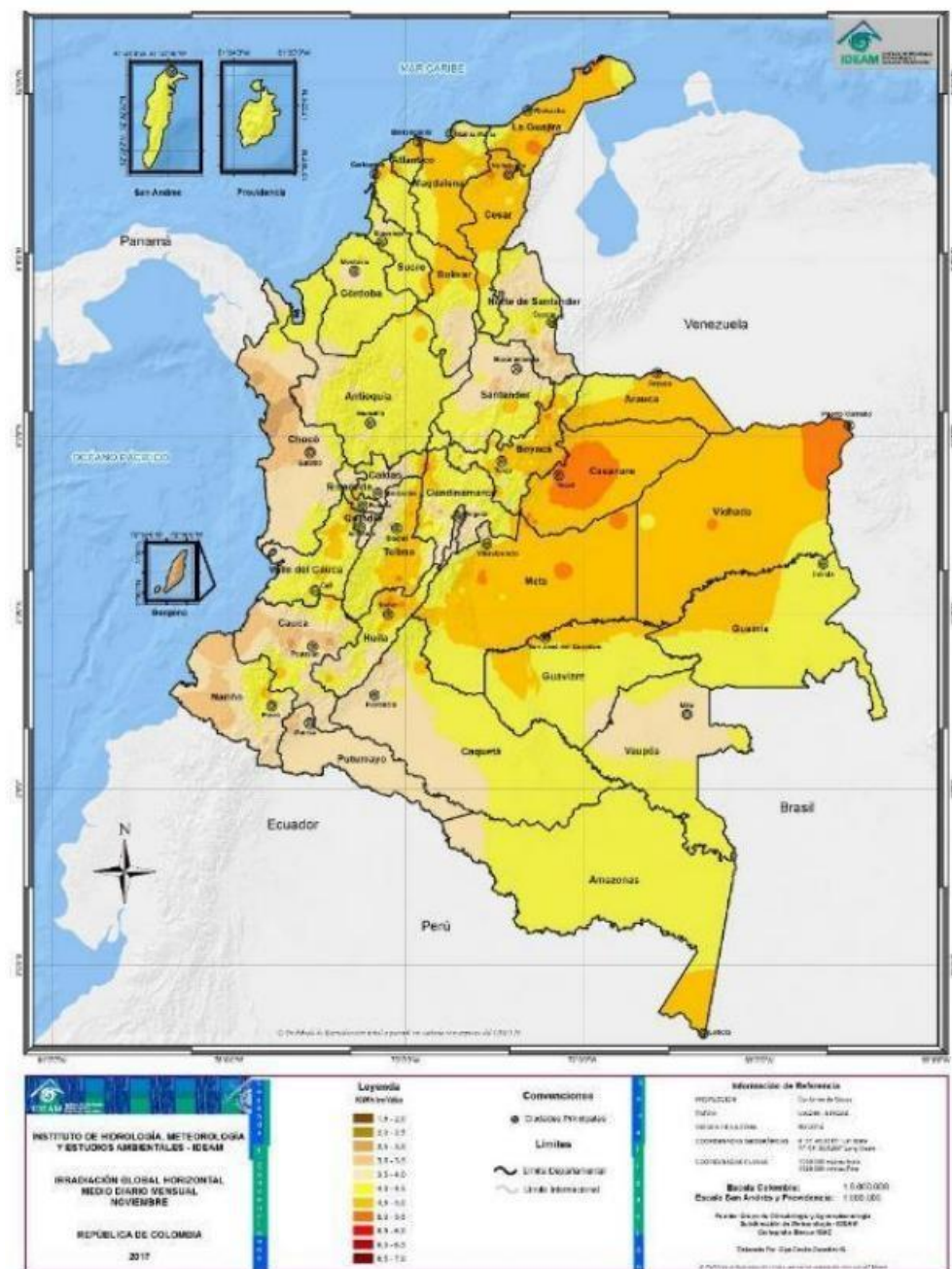
Análisis técnico

Se propone la incorporación de sistemas de energía solar en el diseño para satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda, lo que incluye la instalación de paneles solares fotovoltaicos en el techo o en áreas estratégicas de la misma. La integración de energías renovables, como la energía solar, es esencial para disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional, que suele estar alimentada por fuentes de energía no renovables. Esta medida no solo reduce la huella de carbono de la vivienda, sino que también promueve la autosuficiencia energética y puede generar ahorros significativos en costos operativos a largo plazo. Además, al aprovechar una fuente de energía limpia y abundante en Chiriguaná, se optimiza el rendimiento sostenible de la vivienda. A continuación, se realiza un análisis técnico y se calcula la cantidad de paneles, baterías e inversores que necesita una vivienda promedio en Chiriguaná, Cesar.

Potencial de irradiación: La irradiación solar promedio diaria en Chiriguaná es de entre 5,0 y 5,5 kWh/m², según el Atlas de Radiación Solar del IDEAM y la UPME. Este dato es fundamental para dimensionar correctamente los sistemas fotovoltaicos, asegurando que proporcionen suficiente energía para satisfacer las necesidades de la vivienda. En el siguiente mapa de Colombia, figura 17, se puede observar el potencial de radiación solar distribuido por departamentos.

Figura 17

Mapa de radiación Solar



Nota. (IDEAM, 2024)

Criterios de orientación de los paneles solares: La orientación e inclinación de los paneles solares son factores críticos para maximizar la captación de energía solar en Chiriguaná, Cesar. La orientación se refiere al ángulo de acimut, que define la dirección hacia la cual "miran" los paneles. En esta región, la orientación óptima es hacia el sur (0° de acimut), lo que permite maximizar la captación de luz solar durante todo el día, aprovechando plenamente la irradiación solar promedio de entre 5,0 y 5,5 kWh/m².

La inclinación, o ángulo de elevación, es el ángulo formado entre la superficie del panel y el plano horizontal. Para Chiriguaná, donde la latitud es de aproximadamente 9° N, la inclinación recomendada de los paneles es cercana a 9° . Este ajuste asegura una captación óptima de energía solar durante todo el año, aumentando la eficiencia del sistema fotovoltaico. Estas configuraciones garantizan que los paneles solares operen con la máxima eficiencia, contribuyendo a la sostenibilidad y autosuficiencia energética de la vivienda en el contexto local.

Consumo de energía: El consumo promedio mensual de energía en una vivienda típica de Chiriguaná, Cesar, se sitúa en un rango aproximado de 200 kWh. Este nivel de demanda energética es particularmente elevado en la región debido al uso intensivo de sistemas de ventilación y refrigeración, los cuales son indispensables para mantener condiciones de confort térmico en el interior de las viviendas.

Asimismo, según el análisis de facturas de energía y estudios sobre el consumo energético residencial en Colombia, este valor es coherente con los promedios reportados en otras zonas con características climáticas similares. La constante necesidad de refrigeración,

junto con el uso de otros electrodomésticos de primera necesidad, contribuye de manera significativa al consumo energético total de los hogares en Chiriguana. En consecuencia, un consumo mensual de 200 kWh se considera un valor representativo y fundamentado para una vivienda en esta región, teniendo en cuenta tanto las condiciones climáticas locales como los patrones de uso energético identificados.

Cálculo aproximado y dimensionamiento del sistema - condiciones ideales

Datos:

$$\text{Horas pico HSP} = 5.8 \text{ h}$$

$$\text{Consumo mensual promedio} = 200 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo diario (kh/día)} = \frac{\text{Consumo mensual (kWh)}}{30}$$

$$\text{Consumo diario } \left(\frac{\text{kh}}{\text{día}}\right) = \frac{200 \text{ kWh}}{30} = 6.67 \text{ kWh}$$

$$\text{Potencia nominal del 1 panel} = 330 \text{ W}$$

$$\text{Energía diaria 1 panel} = 0.330 \text{ kw} \times 5.8 \text{ horas} = 1.915 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

$$\text{Numero de Paneles} = \frac{6.67 \text{ kWh/dia}}{1.915 \text{ Kwh/panel}} \approx 4 \text{ Paneles}$$

$$\text{Baterías litio (100 Ah - 24 V)}$$

$$\text{Capacidad} = 24\text{V} \times 100 \text{ Ah} = 2.4 \text{ kWh (Autonomía 0.5 días)}$$

$$\text{Almacenar} = \frac{6.67 \text{ kWh}}{2} = 3.34 \text{ kWh}$$

$$\text{Numero de baterías} = \frac{3.34 \text{ kWh}}{2.4 \text{ kWh}} = 1.39 \approx 2 \text{ baterías de litio}$$

Componentes Críticos: La inclusión de un regulador MPPT de 40A y un inversor de onda senoidal pura de 1000 W es esencial para la eficiencia y seguridad del sistema. El regulador MPPT optimiza la extracción de energía de los paneles solares, mientras que el inversor garantiza la conversión adecuada de corriente continua a corriente alterna, permitiendo el uso de electrodomésticos convencionales sin riesgo de daños. De acuerdo con el requerimiento anteriormente mencionado y habiendo realizado los cálculos de dimensionamiento del sistema, encontramos que el sistema fotovoltaico autónomo para la vivienda está compuesto por los siguientes elementos:

Tabla 24

Elementos del sistema

Descripción	Unidad	Cantidad
Paneles solares de 330 Wp	UND	4,0
Batería de 24 V / 120 Ah Litio LiFePO4	UND	2,0
Regulador MPPT 40A	UND	1,0
Inversor Onda Senoidal onda pura 1000 W 24 Vdc	UND	1,0

El sistema solar para una vivienda en Chiriguaná incluye 4 paneles solares de 370 Wp, 2 baterías de litio de 24 V y 120 Ah, un regulador MPPT de 40A y un inversor de onda senoidal pura de 1000 W, asegurando una solución energética eficiente y confiable.

Uso eficiente del agua

En este capítulo, se analiza cómo los aparatos de bajo consumo no solo mejoran la eficiencia en el uso del agua en las viviendas, sino que también contribuyen significativamente a la sostenibilidad y reducción del impacto ambiental. Estos dispositivos están diseñados para minimizar el consumo de agua sin comprometer la funcionalidad, lo que es clave para cumplir con certificaciones ambientales como LEED, EDGE y CASA Colombia. A continuación, detallaremos algunos de estos aparatos y sus beneficios, destacando su importancia en la promoción de prácticas de consumo sostenible.

Inodoros de Bajo Flujo

Función: Utilizan entre 4.8 y 6 litros por descarga, considerablemente menos que los 13 litros de los modelos tradicionales.

Beneficio: Contribuyen a un significativo ahorro de agua y reducen la carga en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Duchas de Bajo Flujo

Función: Están diseñadas para disminuir el consumo de agua a menos de 9.5 litros por minuto.

Beneficio: Reducen el consumo de agua y energía, bajando costos en servicios y mitigando el impacto ambiental.

Grifos con Aireadores

Función: Incorporan aire en el flujo de agua, lo que permite reducir el consumo de agua hasta en un 50% sin perder presión.

Beneficio: Ahorran agua y energía, facilitando una transición hacia prácticas de consumo más sostenibles.

Certificaciones

Las certificaciones ambientales como LEED, EDGE y CASA Colombia reconocen y recompensan la implementación de tecnologías que mejoran la eficiencia del uso del agua. Por ejemplo, LEED otorga puntos adicionales por la instalación de tecnologías que consumen un 20% menos de agua que los estándares convencionales.

Tecnologías como inodoros de bajo flujo, duchas de baja presión y grifos con aireadores son evaluadas positivamente en estos sistemas de certificación, contribuyendo a la sostenibilidad del edificio y proporcionando beneficios tanto económicos como ambientales.

Eficiencia energética en iluminación

La eficiencia energética en esta vivienda se mejora significativamente mediante un diseño inteligente de iluminación natural. La cantidad y ubicación de 4 en ventanas en 52 m² maximiza la entrada de luz natural, reduciendo la dependencia de la iluminación artificial y disminuyendo el consumo energético. Este enfoque asegura que las ventanas bien ubicadas

proporcionen suficiente iluminación durante todo el día y contribuyan al confort visual y térmico de los espacios habitables, lo cual es esencial para cumplir con los estándares de certificaciones de sostenibilidad como LEED. Además, la eficiencia en el diseño de la iluminación natural puede resultar en un ahorro de energía eléctrica de entre el 60 y el 90%, subrayando la importancia de considerar estos elementos desde las etapas iniciales del diseño. El objetivo es alcanzar niveles adecuados de iluminación en toda la vivienda, incluyendo los puntos más lejanos del perímetro, para optimizar los beneficios ambientales y económicos y mejorar el bienestar de los ocupantes, haciendo de las viviendas lugares más sostenibles y eficientes energéticamente.

4.3.7 Implementación BIM

En esta sección se integra la implementación de Building Information Modeling (BIM) como una herramienta esencial para la planificación detallada del sistema constructivo Steel Framing en el proyecto de Chiriguaná, Cesar. La principal razón para adoptar BIM en esta fase del proyecto radica en su capacidad para generar modelos tridimensionales altamente precisos que integran todos los aspectos del diseño arquitectónico y estructural, lo que es crucial para una planificación exhaustiva y exacta.

El enfoque central de la implementación BIM en este contexto es la creación de tablas de planificación, las cuales son fundamentales para asegurar una estimación precisa de los recursos necesarios, como materiales, tiempos de ejecución y secuencias constructivas. Estas tablas (ver figura 18, figura 19, figura 20, figura 21) proporcionan una visión detallada y cuantificable de

cada etapa del proyecto, lo que permite desarrollar un presupuesto basado en datos sólidos y actualizados.

Figura 18

Modelado de Familias estructurales

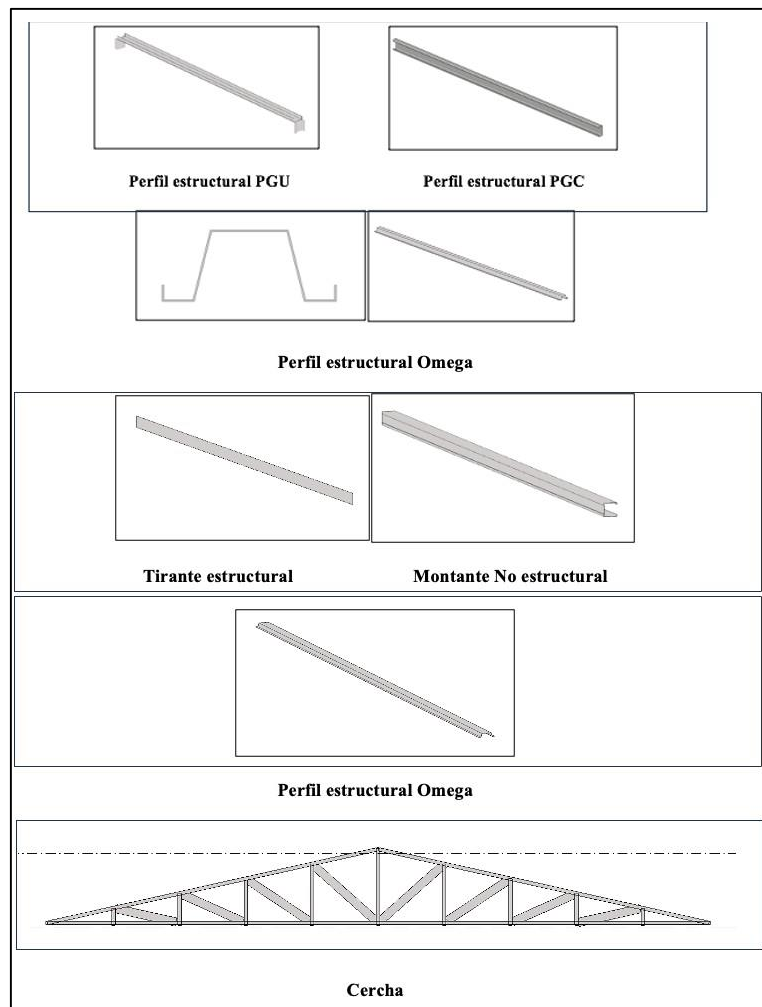


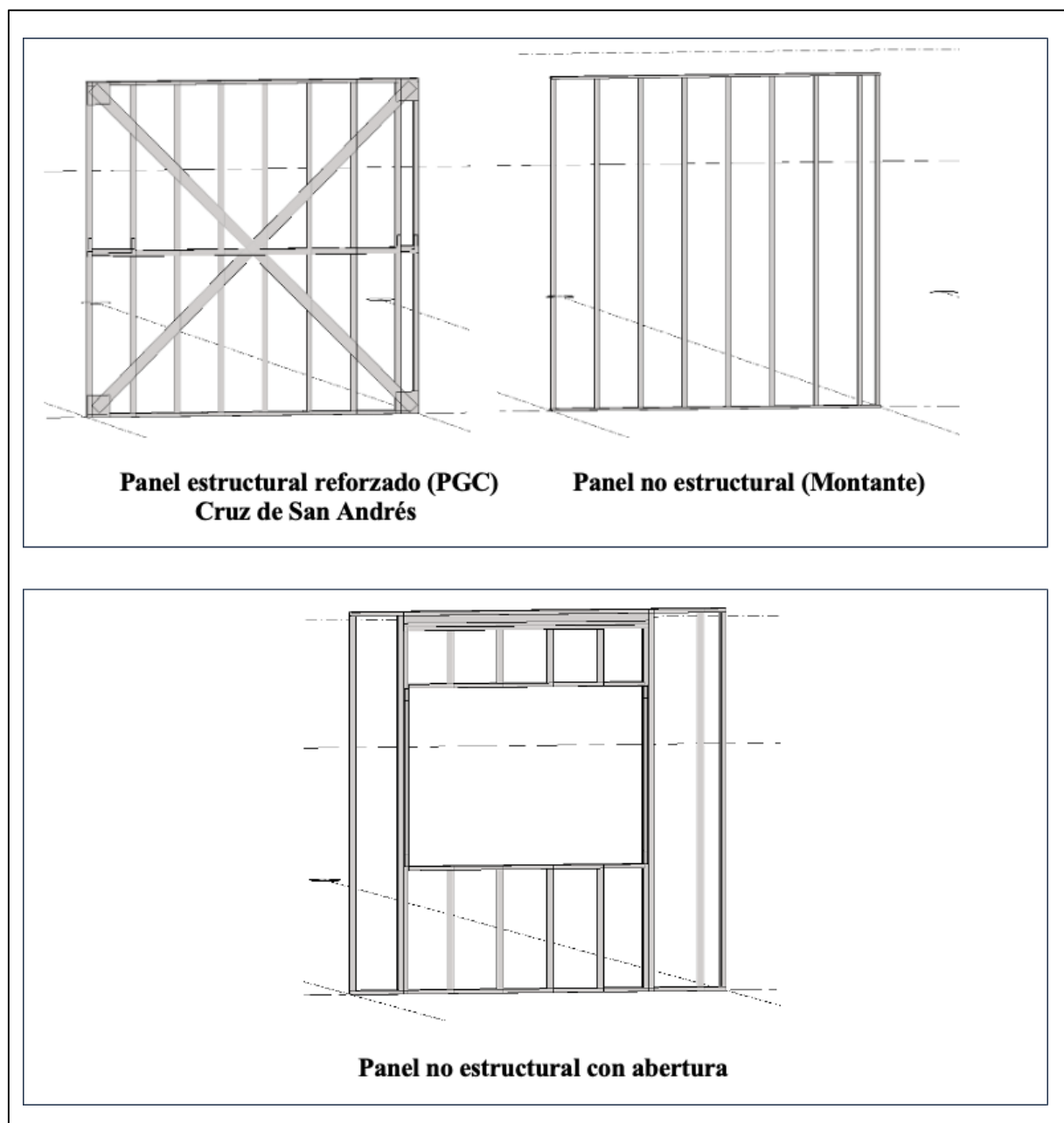
Figura 19*Modelado de Paneles*

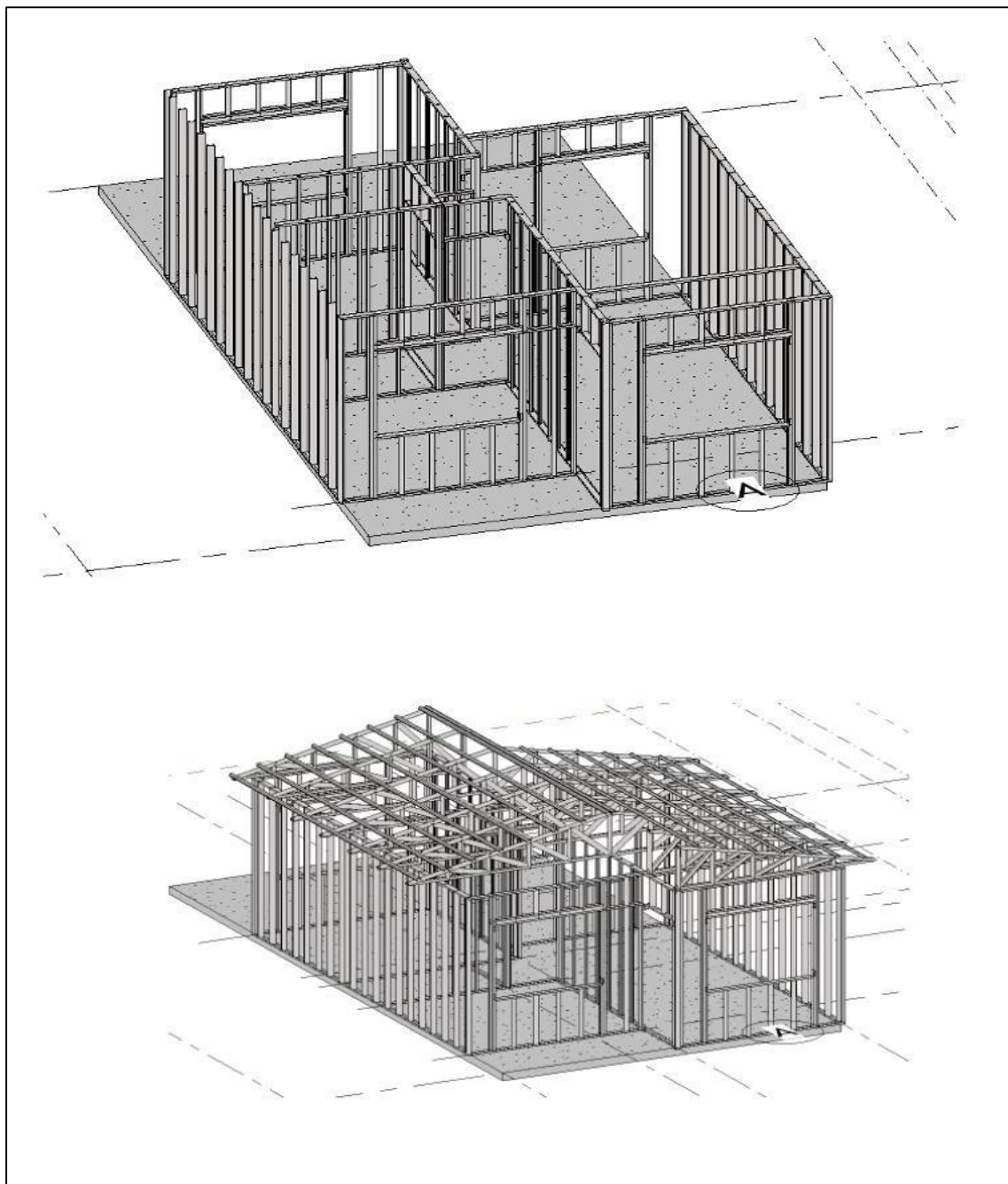
Figura 20*Modelado Vivienda tipo a*

Figura 21

Render Modelado de vivienda

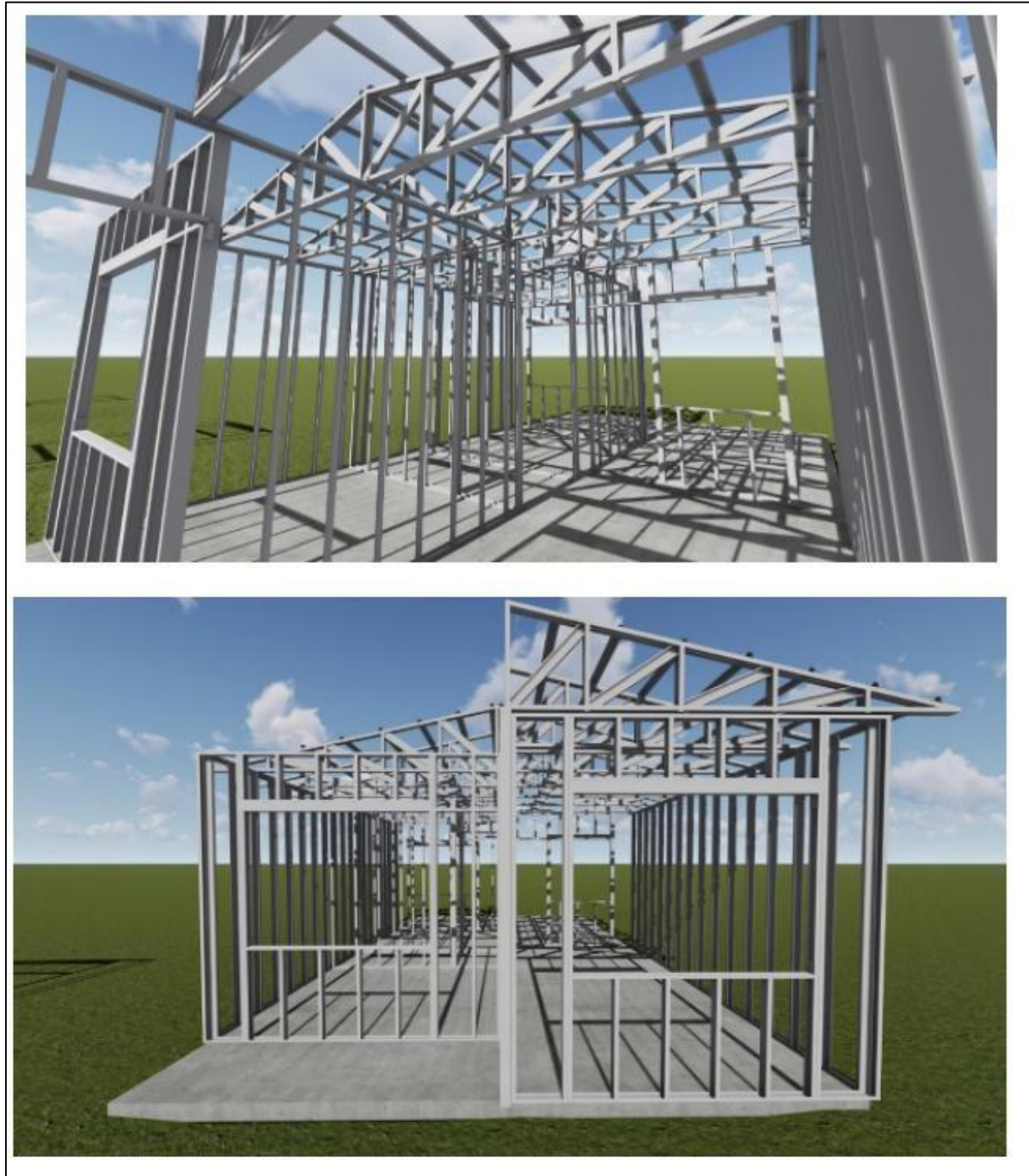


Figura 22

Modelado de vivienda revestimiento

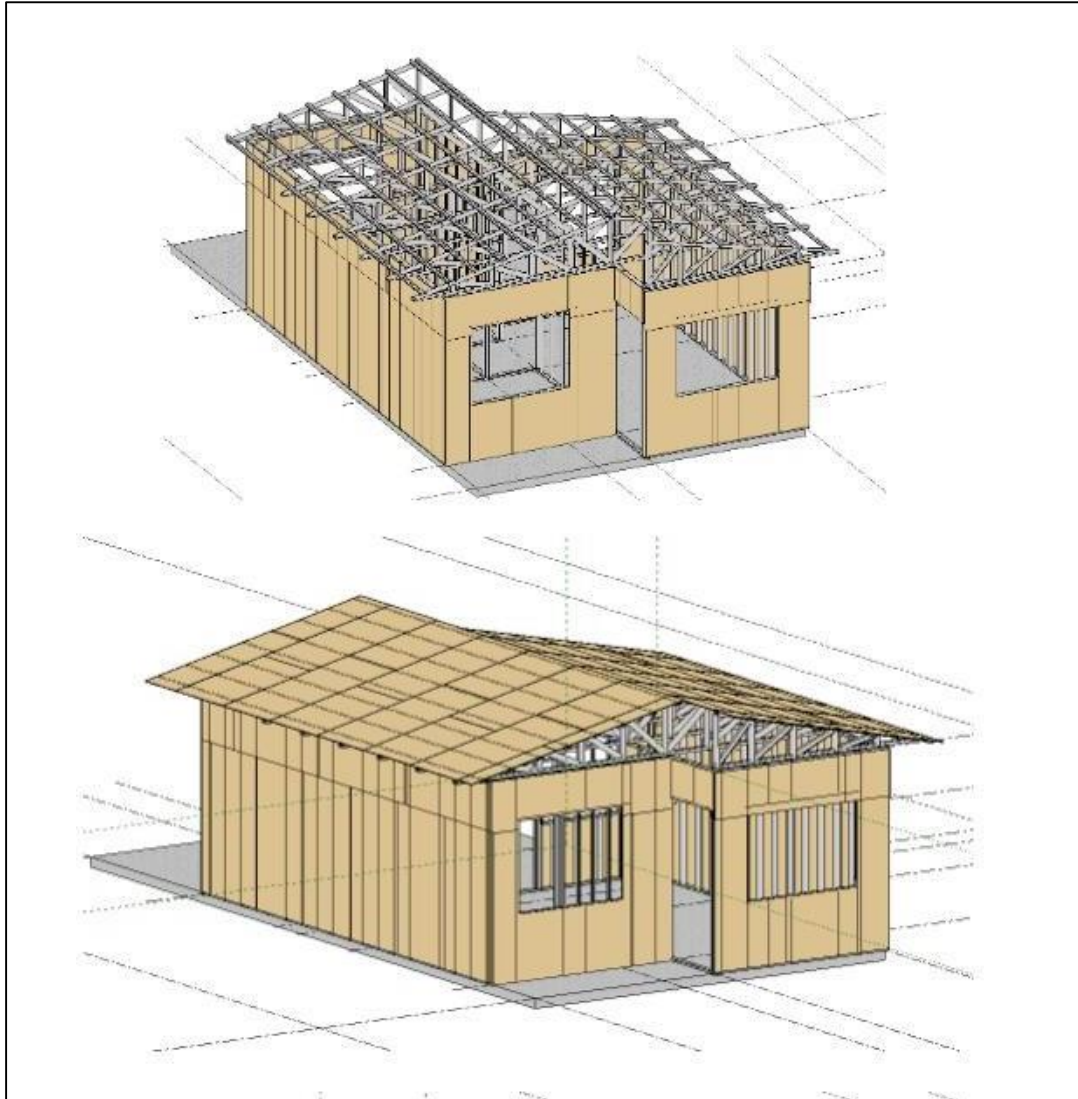


Figura 23

Ejemplo Tablas de planificación

<Tabla de Planificación Perfiles>

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Type	Nomenclatura_LSF	Descripción_LSF	A_LSF	B_LSF	C_LSF	e_LSF	Material_LSF	Comercial_LSF	Corte_LSF	Cantidad Estimada
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	8466.65	1.41
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7278.17	1.21
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	7480.85	1.25

<Tabla de Planificación Perfiles>

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Type	Nomenclatura_LSF	Descripción_LSF	A_LSF	B_LSF	C_LSF	e_LSF	Material_LSF	Comercial_LSF	Corte_LSF	Cantidad Estimada
Montante Económico L=3.0m	38x38x0.5	Pie Derecho	38.00	38.00	5.00	0.50	ASTM A653 SCB	3000.00	68239.20	22.75
C 2x4x0.85 L=6.0m	PGC 90x0.85	PGC Cercha	90.00	38.00	12.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	188629.48	31.44
C 2x4x0.85 L=6.0m	PGC 90x0.85	PGC Dintel	90.00	38.00	12.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	22454.60	3.74
C 2x4x0.85 L=6.0m	PGC 90x0.85	Pie Derecho	90.00	38.00	12.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	245964.25	40.99
Omega Normal L=6m	PGO 35x0.85	Correa	38.00	35.00	15.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	126161.24	21.03
U 2x4x0.85 L=6m	PGU 92x0.85	Canal Superior	92.00	30.00	0.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	6002.03	1.00
U 2x4x0.85 L=6m	PGU 92x0.85	PGU Dintel	92.00	30.00	0.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	39342.73	6.56
U 2x4x0.85 L=6m	PGU 92x0.85	Pie Derecho	92.00	30.00	0.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	5996.60	1.00
U 2x4x0.85 L=6m	PGU 92x0.85	Solera Inferior	92.00	30.00	0.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	69086.61	11.51
U 2x4x0.85 L=6m	PGU 92x0.85	Solera Superior	92.00	30.00	0.00	0.85	ASTM A653 SQ G	6000.00	31191.74	5.20

4.3.8 Presupuesto inicial (implementación)

Tabla 25

Presupuesto vivienda Steel Framing

PRESUPUESTO VIVIENDA STEEL FRAMING											
ITEM	DESCRIPCIÓN						UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO		VR. TOTAL
1.00	EXCAVACIONES Y RELLENO										
1.1	EXCAVACION MANUAL						M3	9.94	\$	50,045.00	\$ 497,517.36
										SUBTOTAL	\$ 497,517.36
2.00	CIMENTACION Y PISO										
2.1	VIGAS DE CIMIENTO 0.25X0.25 PSI EN CONCRETO 3000 PSI						M3	4.48	\$	800,854.40	\$ 3,588,828.78
2.2	PLANTILLA EN CONCRETO 3.000 PSI - CON MALLA ELECTROSOLDADA - POLIETILENO EXP. 0.07 MT.						M2	46.80	\$	42,823.90	\$ 2,004,072.87
2.3	ACERO DE REFUERZO A-60000 INCLUYE SUMINISTRO FIGURADO Y FIJACION						KG	256.35	\$	3,483.20	\$ 892,919.71
										SUBTOTAL	\$ 6,485,821.37
3.00	ESTRUCTURA										
3.1	PERFIL PGC PARA PANEL ESTRUCTURAL INCL.	M2	62.64	\$	128,169.97	\$	8,029,079.48				
3.2	PERFIL PGU PARA PANEL ESTRUCTURAL INCL.	ML	145.00	\$	29,137.93	\$	4,225,000.00				
3.3	PERFIL MONTANTE						M2	36.00	\$	94,000.00	\$ 3,384,000.00
3.4	CERCHA EN PERFIL ESTRUCTURAL PGC						ML	54.00	\$	158,225.00	\$ 8,544,150.00
3.5	SUMINISTRO E INSTALACION CORREA EN PERFIL PGO						ML	39.20	\$	53,343.00	\$ 2,091,045.60
										SUBTOTAL	\$ 26,273,275.08
4.00	REVESTIMIENTO										
4.1	REVESTIMIENTO EN PLACA OSB MUROS EXTERIORES Y CUBIERTA						M2	182.91	\$	45,927.00	\$ 8,400,507.57
4.2	REVESTIMIENTO EN LAMINA YESO PARA MUROS INTERIORES						M2	197.28	\$	23,586.00	\$ 4,653,046.08
										SUBTOTAL	\$ 13,053,553.65
5.00	SISTEMA FOTOVOLTAICO										
5.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS DE 370 WP						Un	4.00		622,229.02	\$ 2,488,916.10

5.2	SUMINISTRO E INSTALACION DE UNA (01) BATERIA DE LITIO 120 AH- 24- 25, 6 VDC DE 3650 CICLOS TEORICOS O SUPERIOR HASTA UN 90% DE DOD	Un	2.00	6,054,773.02	\$	12,109,546.05
5.3	SUMINISTRO E INSTALACION DE INVERSOR DE CORRIENTE DE 1000 W DE ONDA SENOIDAL PURA	Un	1.00	794,143.02	\$	794,143.02
5.4	SUMINISTRO E INSTALACION DE REGULADOR - CONSTROLADOR SOLAR MPPT 40 A	Un	1.00	411,023.46	\$	411,023.46
5.5	REALIZAR EL ENRAMADO ELÉCTRICO Y LAS CONEXIONES NECESARIAS PARA CONECTAR LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	Un	1.00	326,282.80	\$	326,282.80
5.6	REALIZAR EL ENRAMADO ELÉCTRICO Y LAS CONEXIONES NECESARIAS PARA CONECTAR LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	Un	1.00	896,079.72	\$	896,079.72
				SUBTOTAL	\$	17,025,991.14
6.00	CARPINTERÍA METALICA Y ALUMINIO					
6.1	PUERTA METALICA EN LAMINA CAL. 20 DE 1.0*2.00, INCLUYE, CERRADURA Y ANTICORROSIVO	UN	1.00	284,593.60	\$	284,593.60
6.2	PUERTA METALICA EN LAMINA CAL. 20 DE 1.00 *2.00 CON PASADOR	UN	1.00	264,587.20	\$	264,587.20
6.3	PUERTA TRIPLEX O SIMILAR CON MARCO EN LAMINA CAL. 20 - .70 X 2.00, INCLUYE MONTANTE Y ACABADO	UN	1.00	207,483.20	\$	207,483.20
6.4	VENTANA 744 -VIDRIO NATURAL UNA NAVE FIJA Y UNA CORREDIZA 1.00X1.20 5020 ANOLOCK, INCLUYE VIDRIO BRONCE	M2	5.52	181,212.80	\$	1,000,294.66
				SUBTOTAL	\$	1,756,958.66
7.00	INSTALACIONES SANITARIAS					
7.1	CAJA DE INSPECCIÓN DE 60x60x60CM, EN CONCRETO DE fc=3.000PSI IMPERMEABILIZADO, INCLUYE EXCAVACIÓN Y TAPE, TAPA Y HERRAJES, CAÑUELAS, MARCOS EN ANGULO DE 1 1/2"X3/16 E INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO	UN	1.00	286,749.60	\$	286,749.60
7.2	PUNTO SANITARIO PVC 4"- INCL. EXCAVACION Y TAPE	UN	2.00	90,160.80	\$	180,321.60
7.3	PUNTO SANITARIO PVC 2"- INCL. EXCAVACION Y TAPE	UN	6.00	56,496.00	\$	338,976.00
7.4	RED SANITARIA PVC 4- INCL. EXCAVACION Y TAPE	ML	9.15	38,256.00	\$	350,042.40
7.5	RED AGUAS LLUVIAS PVC 4"- INCL. EXCAVACION Y TAPE	ML	10.00	35,417.60	\$	354,176.00
				SUBTOTAL	\$	1,510,265.60
8.00	INSTALACIONES HIDRAULICAS					
8.1	PUNTO HIDRAULICO PVC PRESION DE 1/2".	UN	6.00	42,088.80	\$	252,532.80
8.2	RED SUMINISTRO PVC 1/2"	ML	17.00	12,504.00	\$	212,568.00
8.3	TANQUE PLASTICO PARA RESERVA DE AGUA 500LT-INCL. ACCESORIOS NECESARIOS PARA SU INSTALACION Y FUNCIONAMIENTO	UN	1.00	620,182.40	\$	620,182.40
				SUBTOTAL	\$	1,085,283.20
9.00	APARATOS SANITARIOS Y DE COCINA					
8.1	LLAVE CONTROL DE 1/2"	UN	2.00	\$ 59,407.20	\$	118,814.40
9.2	LAVAPLATOS 1.2 X 0.52 EN ACERO INOXIDABLE EMPOTRAR	UN	1.00	\$ 275,072.00	\$	275,072.00

9.3	LAVAMANOS ACUACER BLANCO O SIMILAR INCL. GRIFERIA	UN	1.00	\$	147,764.80	\$	147,764.80
9.4	SANITARIO BAJO FLUJO BLANCO O SIMILAR	UN	1.00	\$	237,443.20	\$	237,443.20
9.5	DUCHA PRISMA BAJO FLUJO	UN	1.00	\$	68,543.20	\$	68,543.20
9.6	REJILLAS SOSCO 3X 2	UN	2.00	\$	25,366.40	\$	50,732.80
9.7	INCRUSTACIONES PORCELANA: TOALLERO, PAPELERA, JABONERA, GANCHO ELITE O SIMILAR	UN	1.00	\$	319,560.80	\$	319,560.80
9.8	LAVADERO PREFABRICADO EN CONCRETO	UN	1.00	\$	217,858.40	\$	217,858.40
SUBTOTAL						\$	1,435,789.60
TOTAL, COSTO DIRECTO VIVIENDA						\$	69,124,455.65

El presupuesto total refleja una inversión de \$69.124.455,65, con los costos más significativos concentrados en la estructura y el revestimiento, que representan aproximadamente el 60% del total del proyecto. Esta alta incidencia es característica en un proyecto de Steel Framing. En los siguientes apartados, se analizarán en detalle el tiempo de implementación y la rentabilidad a largo plazo, aspectos clave para evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 26

Programación de Obra

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
Vivienda Steel Framing	57 días?	lun 9/2/24	lun 11/11/24	
inicio proyecto	0 días	lun 9/2/24	lun 9/2/24	
Excavaciones y relleno	4 días	lun 9/2/24	jue 9/5/24	
Excavación manual	4 días	lun 9/2/24	jue 9/5/24	2
Cimentación y piso	6 días	vie 9/6/24	vie 9/13/24	
vigas de cimient 0.25x0.25 psi en concreto 3000 psi	3 días	lun 9/9/24	jue 9/12/24	4,8
plantilla en concreto 3.000 psi - con malla electrosoldada - polietileno exp. 0.07 mt.	3 días	mar 9/10/24	vie 9/13/24	37
acero de refuerzo a-60000 incluye suministro figurado y fijación	2 días	vie 9/6/24	lun 9/9/24	4
Estructura	27 días	vie 9/13/24	jue 10/17/24	
perfil PGC para panel estructural incl. Instalación	12 días	mié 9/18/24	jue 10/3/24	11
perfil PGC para panel estructural incl. Instalación	4 días	vie 9/13/24	mié 9/18/24	7
perfil montante para panel no estructural incl. Instalación	4 días	mié 9/18/24	mar 9/24/24	11
cercha en perfil estructural PGC	8 días	jue 10/3/24	lun 10/14/24	10
suministro e instalación correa en perfil PGO	3 días	lun 10/14/24	jue 10/17/24	13

revestimiento	9 días	jue 10/17/24	lun 10/28/24	
revestimiento en placa OSB muros exteriores y cubierta	5 días	jue 10/17/24	mié 10/23/24	14
revestimiento en lámina yeso para muros interiores	4 días	mié 10/23/24	lun 10/28/24	16
Instalaciones eléctricas	5 días	lun 10/28/24	lun 11/4/24	
suministro e instalación de módulos solares fotovoltaicos monocristalinos de 370 wp	1 día	lun 10/28/24	mar 10/29/24	17
suministro e instalaciones de una (01) batería de litio 120 ah- 24- 25, 6 vdc de 3650 ciclos teóricos o superior hasta un 90% de dod	1 día	mar 10/29/24	mié 10/30/24	19
suministro e instalación de inversor de corriente de 1000 w de onda senoidal pura	1 día	mié 10/30/24	jue 10/31/24	20
suministro e instalación de regulador - controlador solar mppt 40 a	1 día	mié 10/30/24	jue 10/31/24	20,19
realizar el enramado eléctrico y las conexiones necesarias para conectar los componentes del sistema fotovoltaico.	1 día	jue 10/31/24	vie 11/1/24	22
realizar el enramado eléctrico y las conexiones necesarias para conectar los componentes del sistema fotovoltaico.	1 día	vie 11/1/24	lun 11/4/24	23
Carpintería metálica y aluminio	2 días	lun 11/4/24	mié 11/6/24	
puerta metálica en lamina cal. 20 de 1.0*2.00, incluye, cerradura y anticorrosivo	1 día	lun 11/4/24	mar 11/5/24	18
puerta metálica en lamina cal. 20 de 1.00 *2.00 con pasador	1 día	lun 11/4/24	mar 11/5/24	18
puerta trípex o similar con marco en lamina cal. 20 - .70 x 2.00, incluye montante y acabado	1 día	lun 11/4/24	mar 11/5/24	18
ventana 744 -vidrio natural una nave fija y una corrediza 1.00x1.20 5020 anolock, incluye vidrio bronce	1 día	mar 11/5/24	mié 11/6/24	28
Instalaciones sanitarias	5 días	vie 9/6/24	jue 9/12/24	
caja de inspección de 60x60x60cm, en concreto de f'c=3.000psi impermeabilizado, incluye excavación y tape, tapa y herrajes, cañuelas, marcos en ángulo de 1 1/2"x3/16 e incluye todo lo necesario para su correcto funcionamiento	1 día	mié 9/11/24	jue 9/12/24	32
punto sanitario PVC 4"- incl. excavación y tape	2 días	lun 9/9/24	mié 9/11/24	34
punto sanitario PVC 2"- incl. excavación y tape	1 día	lun 9/9/24	mar 9/10/24	34
red sanitaria PVC 4- incl. excavación y tape	2 días	vie 9/6/24	lun 9/9/24	4
red aguas lluvias PVC 4"- incl. excavación y tape	2 días	vie 9/6/24	lun 9/9/24	4
Instalaciones hidráulicas	53 días	vie 9/6/24	lun 11/11/24	
punto hidráulico PVC presión de 1/2".	1 día	lun 9/9/24	mar 9/10/24	38
red suministro PVC 1/2"	2 días	vie 9/6/24	lun 9/9/24	4
tanque plástico para reserva de agua 500lt- incl. accesorios necesarios para su instalación y funcionamiento	1 día	sáb 11/9/24	lun 11/11/24	48
aparatos sanitarios y de cocina	3 días?	mié 11/6/24	sáb 11/9/24	

llave control de 1/2"	1 día	mié 11/6/24	jue 11/7/24	29
lavaplatos 1.2 x 0.52 en acero inoxidable empotrar	1 día	jue 11/7/24	vie 11/8/24	41
lavamanos acucacer blanco o similar incl. griferías	1 día	jue 11/7/24	vie 11/8/24	41
sanitario bajo flujo blanco o similar	1 día?	jue 11/7/24	vie 11/8/24	41
ducha prisma bajo flujo	1 día?	vie 11/8/24	sáb 11/9/24	42
rejillas sosco 3x 2	1 día?	vie 11/8/24	sáb 11/9/24	42
incrustaciones porcelana: toallero, papelera, jabonera, gancho elite o similar	1 día?	vie 11/8/24	sáb 11/9/24	42
lavadero prefabricado en concreto	1 día?	vie 11/8/24	sáb 11/9/24	42
fin del proyecto	0 días	vie 11/8/24	vie 11/8/24	

Según la programación de obra, la construcción de esta vivienda con Steel Framing en Chiriguaná, Cesar, se estima en 56 días. El tiempo de implementación es una de las ventajas más destacadas del Steel Framing, ya que permite reducir los plazos de construcción hasta en un 65% en comparación con las tecnologías convencionales. La prefabricación de componentes y la facilidad de ensamblaje en sitio agilizan el proceso y lo hacen menos dependiente de las condiciones climáticas, lo que también disminuye los costos indirectos, como la mano de obra y los gastos generales

4.3.9 Análisis de rentabilidad a largo plazo

La rentabilidad a largo plazo es un factor crucial en la evaluación de tecnologías de construcción no convencionales, especialmente cuando se busca fomentar prácticas sostenibles que sean económicamente viables en regiones como Chiriguaná, Cesar. En esta sección, se realizará un análisis detallado del rendimiento financiero a largo plazo del sistema de Steel Framing, destacando su capacidad para generar ahorros significativos en mantenimiento, eficiencia energética y durabilidad. Al comparar estos beneficios con la inversión inicial, se

pretende demostrar cómo el Steel Framing no solo cumple con los criterios de sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece una opción rentable para proyectos de construcción en la región.

Costos Iniciales

Costo de inversión adicional por implementación del sistema Steel framing: El uso del sistema Steel Framing implica un costo adicional significativo en comparación con métodos de construcción tradicionales. En este caso específico, la construcción con Steel Framing resulta ser un **18.3%** más costosa, lo que equivale a **\$8,397,057.25**.

Tabla 27

Costo total directo para vivienda construida con metodología de construcción Steel framing, sin analizar el sistema fotovoltaico.

PRESUPUESTO GENERAL STEEL FRAMING		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
1.00	EXCAVACION Y RELLENO	\$ 497,517.36
2.00	CIMENTACION Y PISO	\$ 6,485,821.37
3.00	ESTRUCTURA (Incl. Cubierta)	\$ 26,273,275.08
4.00	REVESTIMIENTO (Inc Cubierta)	\$ 13,053,553.65
5.00	INSTALACIONES ELECTRICAS	\$ 2,099,627.43
6.00	CARPINTERÍA METALICA Y ALUMINIO	\$ 1,756,958.66
7.00	INSTALACIONES SANITARIAS	\$ 1,510,265.60
8.00	INSTALACIONES HIDRAULICAS	\$ 1,085,283.20
9.00	APARATOS SANITARIOS Y DE COCINA	\$ 1,435,789.60
TOTAL COSTO DIRECTO VIVIENDA		\$ 54,198,091.94

Tabla 28

Costo total directo para vivienda construida con métodos convencionales.

PRESUPUESTO GENERAL MAMPOSTERIA CONFINADA			
ITEM	DESCRIPCIÓN	VR. UNIDAD	
1.00	EXCAVACION Y RELLENO	\$	497,517.36
2.00	CIMENTACION Y PISO	\$	10,794,279.78
3.00	MAMPOSTERIA Y PAÑETE	\$	11,829,191.56
4.0	ESTRUCTURA	\$	10,086,000.75
5.00	CUBIERTA	\$	4,706,120.75
7.00	INSTALACIONES ELECTRICAS	\$	2,099,627.43
8.00	CARPINTERÍA METALICA Y ALUMINIO	\$	1,756,958.66
9.00	INSTALACIONES SANITARIAS	\$	1,510,265.60
10.00	INSTALACIONES HIDRAULICAS	\$	1,085,283.20
11.00	APARATOS SANITARIOS Y DE COCINA	\$	1,435,789.60
SUBTOTAL COSTO DIRECTO VIVIENDA		\$	45,801,034.69

Costo de instalación de paneles solares: La incorporación de un sistema de fotovoltaico permite a la vivienda generar su propia electricidad, reduciendo significativamente la dependencia de la red eléctrica y, por ende, los costos asociados al consumo de energía. El sistema de la solución fotovoltaica un costo de instalación **\$ 17,025,991.00**

Sumando el costo adicional de Steel Framing y el costo de la instalación de paneles solares, el total de la inversión inicial adicional asciende a **\$25,423,048.39**.

Este monto representa la base de la inversión para el análisis de rentabilidad a largo plazo que se desarrolla en los siguientes apartados.

Ahorros a largo plazo

Ahorros en energía: Uno de los principales beneficios de la instalación de paneles solares es la reducción en los costos de la factura eléctrica. Se proyecta un ahorro anual de **\$2,692,896**, basado en un consumo promedio diario de 200 kWh según el análisis de facturas de energía y estudios sobre el consumo energético residencial en Colombia y una tarifa actual de **\$1,122.04** por kWh. Además, considerando un incremento anual del 2% por motivo de inflación, el impacto acumulativo de los ahorros se incrementa con el tiempo.

Ahorros por sistemas mecánicos de enfriamiento: El uso de paneles solares no solo reduce el costo de energía, sino que también disminuye la necesidad de sistemas mecánicos de enfriamiento. Se proyecta un ahorro adicional al evitar la compra de un aire acondicionado adicional de 12,000 BTU a un costo de \$1,799,400 por unidad basado en cotizaciones. Además, el mantenimiento regular de estos sistemas, que se estima en \$200,000 cada seis meses, también contribuye a los ahorros totales.

Valor Presente Neto (VPN) de los ahorros: Para una inflación se estima un crecimiento anual del 2%, se usa la siguiente fórmula para cada año t

$$A_t = A_0(1 + i)^t$$

Donde:

A_t = *ahorro ajustado para el año t .*

A_0 = *ahorro inicial.*

$i =$ Incremento anual en los ahorros asa de descuento

$t =$ numero de años

Tabla 29

Ahorros a largo plazo

Año	At (Ahorro en Energía)	At (Ahorro en Compra de A/C)	At (Ahorro en Mantenimiento de A/C)
1	\$2,746,754	\$1,835,388	\$408,000
2	\$2,801,689	\$1,872,096	\$416,160
3	\$2,857,723	\$1,909,538	\$424,483
4	\$2,914,877	\$1,947,728	\$432,973
5	\$2,973,175	\$1,986,683	\$441,632
6	\$3,032,638	\$2,026,416	\$450,464
7	\$3,093,290	\$2,066,944	\$459,473
8	\$3,155,155	\$2,108,283	\$468,662
9	\$3,218,258	\$2,150,449	\$478,035
10	\$3,282,623	\$2,193,458	\$487,596
11	\$3,348,275	\$2,237,328	\$497,348
12	\$3,415,241	\$2,282,074	\$507,295
13	\$3,483,546	\$2,327,715	\$517,440
14	\$3,553,217	\$2,374,270	\$527,789
15	\$3,624,281	\$2,421,756	\$538,344
16	\$3,696,766	\$2,470,191	\$549,111
17	\$3,770,701	\$2,519,594	\$560,093
18	\$3,846,115	\$2,569,986	\$571,295
19	\$3,923,037	\$2,621,386	\$582,721
20	\$4,001,498	\$2,673,813	\$594,375
21	\$4,081,528	\$2,727,289	\$606,262
22	\$4,163,159	\$2,781,834	\$618,387

23	\$4,246,422	\$2,837,471	\$630,755
24	\$4,331,351	\$2,894,220	\$643,370
25	\$4,417,978	\$2,952,104	\$656,238

Luego, para calcular el VPN de estos ahorros ajustados durante 25 años con una tasa de descuento r del 10%, se utiliza la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- A_t = Ahorro o flujo de caja neto en el año t .
- r = Tasa de descuento
- t = Año específico dentro del horizonte de evaluación
- n = Número total de años del horizonte de evaluación
- C_0 = Inversión inicial.

$$VP = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t}$$

$$VP(\text{ahorro en energía}) = \sum_{t=1}^{25} \frac{4417978}{(1+0.10)^t} = \$40,102,163.11$$

$$VP(\text{ahorro en compra A/C}) = \$2,952,104$$

$$VP(\text{mantenimiento de A/C}) = \sum_{t=1}^{25} \frac{656238}{(1 + 0.10)^t} = \$5,956,698.59$$

Rentabilidad total a largo plazo

La rentabilidad total a largo plazo se calcula sumando el VPN de los ahorros obtenidos durante la vida útil de la vivienda, menos el costo inicial

$$\sum VPN = 40,102,163.11 + \$2,952,104 + \$5,956,698.59 = \$49,010,965.70$$

$$Rentabilidad = (\sum VPN) - \text{Costo iniciales} = \$49,010,965.70 - \$25,423,048.39$$

$$Rentabilidad = \$23,587,917.31 \text{ a 25 años}$$

A pesar del costo inicial más elevado asociado con la implementación del sistema de construcción Steel Framing, que es aproximadamente un 18.3% superior en comparación con métodos de construcción tradicionales como la mampostería confinada, el análisis de rentabilidad a largo plazo demuestra que esta tecnología es, de hecho, rentable.

La incorporación de Steel Framing, junto con un sistema de paneles solares, no solo permite obtener importantes ahorros en energía eléctrica a lo largo de la vida útil de la vivienda, sino que también contribuye a reducir la necesidad de sistemas mecánicos de enfriamiento, lo que se traduce en ahorros adicionales en la compra y mantenimiento de equipos como aire acondicionado.

El Valor Presente Neto (VPN) de los ahorros proyectados durante 25 años asciende a \$49,010,965.70, lo cual supera con creces la inversión inicial adicional de \$25,423,048.39. Como

resultado, la rentabilidad neta estimada del proyecto es de \$23,587,917.31, lo que confirma que, a pesar del mayor costo inicial, la adopción del sistema Steel Framing es una decisión económicamente viable y rentable a largo plazo. Este análisis respalda la adopción de tecnologías de construcción más sostenibles y eficientes, que no solo mejoran la calidad de vida, sino que también generan beneficios económicos significativos a lo largo del tiempo.

5. Conclusiones

La evaluación de la viabilidad de tecnologías de construcción no convencionales en Chiriguaná, Cesar, permite conocer que la adopción de materiales y sistemas alternativos puede hacer una diferencia real en términos ambientales, sociales y económicos. Las soluciones que se analizaron en este trabajo tienen el potencial de reducir la huella de carbono, optimar la eficiencia energética y también mejorar la calidad de vida de las personas, teniendo en cuenta grandes desafíos, tales como la capacitación de la mano de obra, la aceptación por parte de la comunidad y políticas públicas que incentiven su adopción que pueden definir el éxito o el fracaso de estas iniciativas.

Se identificaron siete tecnologías de construcción no convencionales: bloques de suelo cemento, ladrillos de geopolímero, construcción modular, Steel Framing, materiales reciclados, contenedores de envío reciclados y construcción en tierra (adobe y tapial); donde se realizó un análisis detallado de cada tecnología, entrevistas a expertos en construcción sostenible y análisis de 5 estudios de caso lo cual permitió conocer ventajas y desventajas de cada tecnología, se evidenció que no todas las soluciones son viables para todas las condiciones, algunas funcionan mejor en ciertos contextos por ejemplo la construcción en tierra y los bloques de suelo cemento destacan por su sostenibilidad, accesibilidad, baja huella de carbono y usan materiales locales, en cambio, tecnologías de construcción como Steel Framing requieren mayor inversión inicial, pero compensa con su proceso de prefabricación y montaje in situ que reduce significativamente el tiempo de construcción y minimiza la generación de residuos, aislamiento que puede integrarse en el espacio del perfil para mejorar la eficiencia energética y su durabilidad.

Se hizo un análisis comparativo y se desarrollaron criterio de clasificación específicos, desde el punto de vista ambiental, se midió la reducción de emisiones de CO₂ , se analizó el uso eficiente y conservación de recursos y el impacto en la biodiversidad, desde el punto de vista social se evaluó la accesibilidad, Calidad y bienestar de vida, aceptación social y participación comunitaria en el proceso constructivo. Donde se concluye que tecnologías como la construcción con tierra y bloques de suelo cemento son opciones más ecológicas, pero con baja aceptación comunitaria, por otro lado, La integración de Steel Framing con paneles de aislamiento térmico fue seleccionada debido a su capacidad para mejorar significativamente la calidad de vida y el bienestar de los residentes gracias a las excepcionales propiedades térmicas de los paneles, se reduce la necesidad de climatización artificial, proporcionando un entorno más confortable y sostenible, sumado a esto, la alta aceptación comunitaria indica que esta tecnología integrada es altamente valorada por los habitantes de Chiriguaná.

Se realizó un análisis técnico de la tecnología seleccionada, Se integró la generación de Electricidad Mediante Fuentes No Convencionales (Energía solar fotovoltaica) y Uso eficiente del agua. Se realizó un cálculo de cantidades detallado de los materiales utilizados mediante Implementación BIM y análisis de precios unitario de la región para calcular sus costos de implementación lo cual mostró contrastes interesantes. El Steel Framing, tienen costos iniciales elevados, pero su retorno a largo plazo es positivo debido a menores gastos en mantenimiento y ahorro energético.

6. Referencias

- Acosta, D., & Cilento, A. (2005). *Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo*. Tecnología y construcción, 21(1), 15-30.
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2880
- Asociación latinoamericana de Acero (2007). *Manual de Ingeniería de Steel Framing*.
https://cms.alacero.org/uploads/manual_ingenieria_steel_framing_cc1026e19b.pdf
- Bedoya Montoya, C. M. (2018). Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 20(1), 62-70.
<https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/1193>
- Bohigues Vallet, D. (2011). *Vivienda tradicional vs. vivienda sostenible* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de València). <https://riunet.upv.es/handle/10251/11621>
- Buenaventura Cundumi, L. M. (2021). *Uso de contenedores para la construcción de viviendas o edificaciones en zonas costeras, en Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia*. (Tesis de Master). Universidad Politécnica de Valencia. <https://acortar.link/4il3db>
- Conta Escobar, J. O. (2019). *Construcción de viviendas bio-sostenibles a partir de contenedores reutilizados y transformados*. (Tesis de pregrado). Universidad Cooperativa de Colombia.
<https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/bc26778d-1bf9-4c8c-bd3a-d327a8c66312>
- Congreso de la República de Colombia (1982). Ley 23 de 1982. Sobre derechos de autor.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3431>

Congreso de la República de Colombia (2012). Ley estatutaria 1581 de 2012. Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

Costantini, A. B., & Francisca, F. M. (2021). Hygrothermal properties of soil-cement construction materials. *Construction and Building Materials*, 313.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/182799>

Dalalbashi, A., Reis, C., Pinto, J., Pimenta, F., Ferreira, N. O., & Pereira, N. B. (2023). Two modular architectural solution of MICADO. *Alexandria Engineering Journal*, 78, 576-583. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016823005914>

DANE (2005). *Boletín censo general 2005*.

https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/20178T7T000.PDF

Diulio, M. D. L. P., Netto, G. R., Berardi, R., & Czajkowski, J. D. (2016). Impact of the envelope on residential heating energy demand in the Metropolitan Region of La Plata, based on the energy retrofit of a house. *Ambiente Construido*, 16, 55-70.

<https://www.scielo.br/j/ac/a/77rHRFT3rQvqkchFM7jY9NP/abstract/?format=html&lang=en>

Dobón Oliver, B. (2018). *Materiales de construcción reciclados y reutilizados para la arquitectura sostenible*. (Tesis de pregrado), E.T.S.A. Valencia.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115062/Dob%20c3%b3n%20Oliver%20-%20Materiales%20de%20construcci%20c3%b3n%20reciclados%20y%20reutilizados%20para%20la%20arquitectura%20sostenible.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fernández, J. (2018). Análisis de las ventajas y desventajas de las técnicas no convencionales en la construcción de edificaciones frente a un evento sísmico. *INGENIO*, 1(1), 53-71.

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/172>

Gatani, M. P. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible, *Informes de la construcción*. 51(466), 37-48.

https://www.researchgate.net/publication/26524391_Ladrillos_de_suelo-cemento_mampuesto_tradicional_en_base_a_un_material_sostenible/fulltext/00b1328f0cf245659d012d09/Ladrillos-de-suelo-cemento-mampuesto-tradicional-en-base-a-un-material-sostenible.pdf

Gerez, M. (2012) *Aplicaciones prácticas de energías alternativas y arquitectura bioclimática*.

<https://energiasrenovablesaplicadas.blogspot.com/2012/12/construyendo-con-ecobloques-de-suelo.html>

Geopolymerinternational (s.f.) *GPI es una empresa de investigación, desarrollo y producción de geopolímeros*. <https://geopolymerinternational.com/>

Hammond, G., & Jones, C. (2011). Inventory of Carbon & Energy (ICE). *Sustainable Energy Research Team (SERT)*, Department of Mechanical Engineering, University of Bath.

<https://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html>

International Energy Agency (IEA). (2019). *Global Status Report for Buildings and*

Construction. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>

Kumar, D., Alam, M., & Sanjayan, J. G. (2023). Development of sustainable heat resistive and storage panels for building envelope: An experimental and numerical study. *Construction*

- and Building Materials*, 403, 133093.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823028106>
- Lawson, R., Ogden, R., Pedreschi, R., Grubb, P. J., & Ola, S. P. (2005). Developments in pre-fabricated systems in light steel and modular construction. *Transport*, 35(15), 15.
<https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/developments-in-pre-fabricated-systems-in-light-steel-and-modular>
- Li, Y., Li, S., Xia, S., Li, B., Zhang, X., Wang, B., ... & Zheng, W. (2023). *A Review on the Policy, Technology and Evaluation Method of Low-Carbon Buildings and Communities*. *Energies*, 16(4), 1773. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/1773>
- Littlewood, J. R., Karani, G., Atkinson, J., Bolton, D., Geens, A. J., & Jahic, D. (2017). Introduction to a Wales project for evaluating residential retrofit measures and impacts on energy performance, occupant fuel poverty, health and thermal comfort. *Energy Procedia*, 134, 835-844. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217346672>
- Lamus Rodríguez, J. L. (2015). *Análisis de viabilidad económica: sistema constructivo light steel framing en Colombia*. (Tesis de Maestría). Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a3ba2396-ddf8-4c64-bac6-27c858c99c38/content>
- Mineral Products Association. (2019). *The Contribution of Mineral Products to Reducing the UK's Carbon Footprint*. <https://www.mineralproducts.org>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2024) Calculadora de Huella de Carbono. <https://www.minambiente.gov.co/>
- Ministerio de Defensa Nacional (2015). Decreto 1285 De 2015. Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y

Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=62885>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015). Resolución 0549 de 10 de Julio de 2015. Por el cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuánto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. <https://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Resoluci%C3%B3n-549-de-2015.pdf>

Mirás, J. (2000). Elementos de muestreo para poblaciones finitas.

https://www.ine.es/ine/oposiciones/temario_2021/muestreo_poblaciones_finitas.pdf

Moghayedi, A., Phiri, C., & Ellmann, A. M. (2023). Improving sustainability of affordable housing using innovative technologies: Case study of SIAH-Livable. *Scientific African*, 21, e01819. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227623002752>

Montoya Cruz, A. M., & García Hernández, X. (2019). *Diseño y evaluación de la aceptabilidad social, la sostenibilidad ambiental, la factibilidad técnica y viabilidad financiera de una vivienda fabricada a partir de materiales de la zona en el Municipio de Zipacón*. (Tesis de Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Cundinamarca. <https://repository.udistrital.edu.co/items/bd7a8ff1-6bc7-42b6-bfc7-9dd8a8a5abff>

Morales Llaja, O. A. & Sánchez Chamorro, G. J. (2020). *Diseño de una vivienda verde unifamiliar, aplicado a un desarrollo sostenible en Huánuco*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma. Perú. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3732>

- Mosquera Ayala, L., & Noreña Trejos, M. A. (2021). *Estudio de viabilidad ambiental y financiero sobre las técnicas de la construcción sostenible que pueden adoptarse en la construcción tradicional de viviendas en Colombia*. (Tesis de pregrado) Universidad Antonio Nariño. <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/fb08e91f-dfbe-4855-99d9-ace6dd370ec5/content>
- Park, B. R., & Chung, M. H. (2023). Analysis of the additional energy-saving potential of residential buildings after mandatory zero-energy buildings to achieve carbon neutrality in South Korea. *Building and Environment*, 228, 109908.
<https://colab.ws/articles/10.1016%2Fj.buildenv.2022.109908>
- Presidencia de la República de Colombia. (2013). Decreto 1377 de 2013. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012, Derogado Parcialmente por el Decreto 1081 de 2015.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>
- Porto Eljach, Y. M., & Saldarriaga Hoyos, L. T. (2019). Viabilidad técnica de la implementación de prácticas ambientales para la certificación en Construcción Sostenible en Colombia. (Tesis de Especialización) Universidad de Antioquia.
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15907/1/PortoYina_2019_ImplementacionPracticasAmbientales.pdf
- Queipo de Llano Moya, J., Izquierdo, M., Navarro, J. M., Águila, A. D., Guinea Díaz, D., Villamor, P. M., Vega, S. & Neila, J. (2009). *Proyecto de investigación INVISO: industrialización de viviendas sostenibles*.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/14524/3/850.pdf>

- Reyes, A. (2013). Sistema alternativo con PET reciclado para la construcción sostenible. *Revista MAB*. (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma Metropolitana (México).
<https://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/5519>
- Sañudo Fontaneda, L.A., Rodríguez Hernández, J. & Castro Fresno, D. (2012). *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*.
https://www.researchgate.net/publication/257231993_Disenio_y_Construccion_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_SUDS
- Tarek, D., Ahmed, M. M., Hussein, H. S., Zeyad, A. M., Al-Enizi, A. M., Yousef, A., & Ragab, A. (2022). Building envelope optimization using geopolymers bricks to improve the energy efficiency of residential buildings in hot arid regions. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01657.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522007896>
- United Nations. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
- Veljkovic, M., & Johansson, B. (2006). Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Structures*, 44(12), 1272–1279. doi:10.1016/j.tws.2007.01.006.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823107000237>
- Wang, P. K., Shih, S. G., & Perng, Y. H. (2020). *Competitive Advantage Evaluation Model of Sustainable Housing Design*. *Sustainability*, 12(15), 6020. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6020>
- Xipre (s.f.) *Construcción modular: ¿qué es y cuáles son sus virtudes?*
<https://xipre.la/blog/construccion-modular-que-es-y-cuales-son-sus-virtudes/>

Apéndices

Apéndice A. Guion de preguntas a los expertos

Guion de entrevista a los expertos

Entrevista sobre la Viabilidad de Tecnologías de Construcción no Convencionales en
Chiriguaná, Cesar

Información del Entrevistado:

Nombre del Entrevistado:

Cargo o Profesión:

Experiencia en Construcción o Sostenibilidad:

Introducción:

Breve descripción del propósito de la investigación y la importancia de la contribución del entrevistado.

Aclaración sobre confidencialidad y consentimiento para el uso de la información proporcionada.

Preguntas Generales:

¿Puede proporcionar una visión general de la disponibilidad y uso actual de tecnologías de construcción no convencionales en la región de Chiriguaná, Cesar?

¿Cuáles son los principales desafíos y oportunidades para la implementación de estas tecnologías en esta área?

Objetivo 1: Analizar Tecnologías Disponibles

Desde su experiencia, ¿cuáles son las tecnologías de construcción no convencionales más relevantes o prometedoras para Chiriguaná en términos de sostenibilidad?

¿Ha participado en la implementación de alguna de estas tecnologías? Si es así, ¿podría compartir algunos resultados y aprendizajes de esos proyectos?

Objetivo 2: Evaluar Idoneidad de las Tecnologías

¿Qué factores climáticos y ambientales de Chiriguaná considera críticos al evaluar la idoneidad de estas tecnologías?

¿Podría identificar barreras específicas que podrían influir en la implementación efectiva de estas tecnologías en la región?

Objetivo 3: Estudio Financiero

En términos de costos iniciales, ¿cómo compararía las tecnologías no convencionales con las prácticas de construcción tradicionales?

¿Tiene ejemplos de proyectos donde la adopción de tecnologías no convencionales haya resultado en ahorros significativos a largo plazo?

Preguntas Finales:

Basándose en su experiencia, ¿qué recomendaciones haría para fomentar la construcción sostenible en Chiriguaná?

¿Conoce recursos o instituciones que podrían apoyar la implementación de estas tecnologías en la región?

Cierre:

Oportunidad para que el entrevistado comparta cualquier otro comentario o información relevante.

Agradecimiento por su tiempo y valiosa contribución a la investigación.

Apéndice B. Glosario

Sostenibilidad en la Construcción de Viviendas: Se refiere a construir casas de forma que respeten el medio ambiente. Esto incluye el uso de materiales que no dañen mucho la naturaleza, técnicas que ahorren agua y energía, y diseños que aseguren un ambiente saludable para vivir.

Tecnologías de Construcción no Convencionales: Son métodos y materiales de construcción que no son los tradicionales, orientados a ser más amigables con el medio ambiente y a incorporar soluciones creativas y modernas.

Bloques de Suelo Cemento: Son bloques utilizados para construir, hechos de una mezcla de tierra y una pequeña cantidad de cemento como se ve en la figura 24. Son reconocidos por ser económicos y resistentes, adecuados para construcción económica y duradera.

Figura 24

Bloques de suelo Cemento



Nota. (Gerez, 2012)

Ladrillos de Geopolímero: Estos son ladrillos hechos de materiales que tienen un impacto ambiental menor en comparación con los ladrillos convencionales (ver figura 25). Son una alternativa ecológica en la construcción.

Figura 25

Geopolimero



Nota. (Geopoly Merinternational, s.f.)

Construcción Modular: Es un método donde partes de una estructura se producen por separado en una fábrica y luego se ensamblan en el sitio de construcción como se ve en la figura 26. Es eficiente y puede reducir el desperdicio de materiales.

Figura 26

Construcción modular

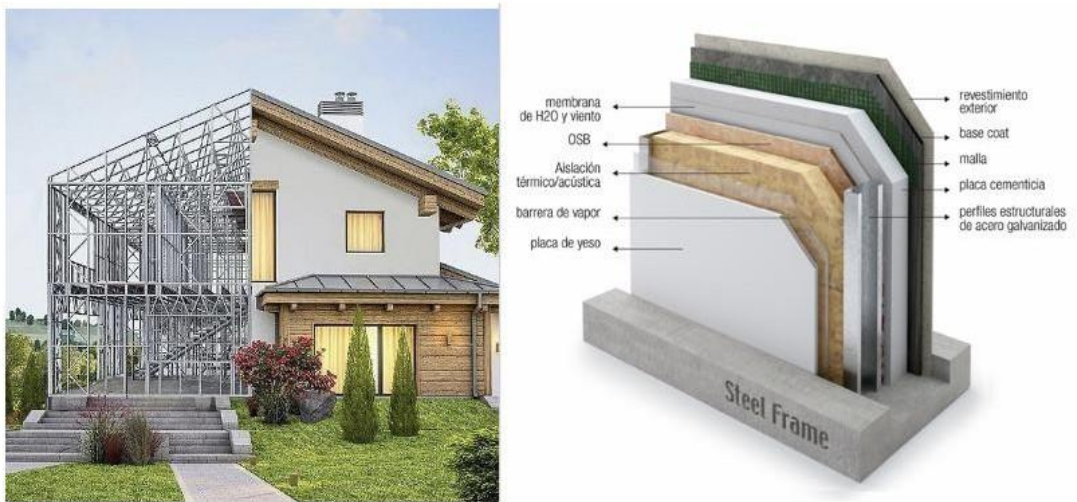


Nota. (Xipre, s.f.)

Steel Framing (Estructura en acero con paneles resistentes al calor): Método que usa acero liviano en lugar de madera o concreto para la estructura de las viviendas. Es resistente, y eficiente en energía, especialmente cuando se combina con paneles aislantes térmicos. Esta técnica (ver figura 27) mejora la durabilidad de la vivienda y su rendimiento energético.

Figura 27

Steel Framing



Nota. (Zoom proyectos y obras, s.f.)

Materiales de construcción reciclados: Implica utilizar materiales que provienen de otras construcciones desmanteladas o residuos industriales, en un esfuerzo por reducir el desperdicio y reutilizar recursos como se ve en la figura 28.

Figura 28*Casa con materiales reciclados**Nota.* (Eleeter, 2019)

Contenedores de envío reciclados: Se trata de transformar contenedores, figura 29, de transporte en estructuras habitables, como casas o tiendas, una solución creativa y sostenible para la reutilización de materiales.

Figura 29*Casa container**Nota.* (My Dream House, s.f.)

Construcción en Tierra (Adobe, Tapial): Técnicas que utilizan la tierra, como el adobe y el tapial, para construir. Estos métodos son tradicionales, ecológicos y ayudan a mantener un buen aislamiento térmico en los edificios (ver figura 30).

Figura 30

Casa de Tapial



Nota. (Casa de Tapia en Ayerbe, 2016)

Apéndice C. Matriz de operacionalización de variables

Variable (s)	Propósito (definición operacional)	Conceptualización (Definición conceptual)	Dimensiones	Subdimensiones	Ítems	Técnica/Encuesta o Entrevista Específica
Viabilidad Económica	Evaluar el costo y beneficio de tecnologías de construcción no convencionales.	La relación entre el costo de adopción y los beneficios económicos a largo plazo de las tecnologías sostenibles.	Costo Inicial, Retorno de Inversión, Costos de Operación y Mantenimiento	Análisis de costo-beneficio, estudios de viabilidad económica	Costo de materiales, costos laborales, ahorros energéticos, subvenciones o incentivos fiscales	Preguntas en la encuesta sobre el presupuesto disponible para construcción, percepción sobre el costo de tecnologías no convencionales, y expectativas de ahorro a largo plazo.
Adaptabilidad Climática	Determinar la eficiencia y efectividad de las tecnologías en el clima local.	La capacidad de las tecnologías de construcción para adaptarse y responder a las condiciones climáticas específicas de Chiriguana.	Eficiencia Energética, Resistencia Climática	Simulaciones climáticas, evaluaciones de rendimiento	Aislamiento térmico, sistemas de enfriamiento pasivos, resistencia a eventos climáticos extremos	Preguntas sobre la experiencia previa con climas extremos, expectativas sobre la eficiencia energética de las viviendas y la efectividad de las tecnologías de adaptabilidad climática.

Aceptación Comunitaria	Medir la disposición de la comunidad y profesionales a adoptar tecnologías no convencionales.	El grado de aceptación y preferencia por parte de la comunidad y profesionales del sector hacia las tecnologías de construcción sostenible.	Percepción de Sostenibilidad, Disposición a Adoptar, Preferencias de Diseño	Encuestas, entrevistas, grupos focales	Actitudes hacia sostenibilidad, conocimiento de beneficios, preferencias estéticas y funcionales	Encuestas sobre la percepción de sostenibilidad de tecnologías no convencionales, entrevistas con profesionales del sector sobre las preferencias de diseño y disposición a adoptar nuevas tecnologías.
Impacto Ambiental	Evaluar las consecuencias ecológicas del uso de tecnologías no convencionales.	El efecto de las tecnologías de construcción sobre el medio ambiente, incluyendo uso de recursos y generación de residuos.	Huella de Carbono, Uso de Recursos, Generación de Residuos	Análisis de ciclo de vida, auditorías ambientales	Emisiones de CO2, consumo de agua y energía, reciclabilidad de materiales	Preguntas en la encuesta sobre el conocimiento de los impactos ambientales de distintas tecnologías de construcción, y la importancia que le dan a factores como la huella de carbono y el uso de recursos en su decisión de construcción.

Apéndice D. Aplicación de encuestas a la comunidad y profesionales del sector

Para esta tarea de investigación, ha sido elaborada una encuesta a partir de un determinado número de preguntas que se dirigieron a la comunidad de Chiriguaná. Fundamentalmente, la misma se establece con base en los criterios de clasificación expuestos con la finalidad de conocer a fondo las percepciones, experiencias y expectativas de sus habitantes con respecto a las tecnologías de edificación sostenible. En la formulación de la encuesta, se optó por una muestra bien calculada con un número aproximado de 369 viviendas elegidas aleatoriamente. No obstante, debido a causas de tiempo y presupuesto, la encuesta se confeccionó al final en 69 viviendas elegidas representativamente. Tal estrategia permite establecer el hecho de que los datos recogidos dan cuenta de la comunidad y de las opiniones de la misma.

Para la recogida de datos se utilizaron tanto las plataformas virtuales como las entrevistas presenciales, amoldándose a las necesidades de los encuestados. La vivienda encuestada fue además georreferenciada dentro del municipio para ilustrar la distribución de la muestra como dispersa y representativa. También se ha dado un énfasis importante en garantizar la accesibilidad y la comprensión del cuestionario de la encuesta por el conjunto de los encuestados, ya que esto reduce las posibilidades de que el encuestado pueda huir o desentenderse del tema de la construcción sostenible cuando el cuestionario lo lleve en sentido contrario. Este hecho es fundamental para la recogida de datos, puesto que conforme se recoge un número más bajo de las respuestas del cuestionario, las mismas son más auténticas ya que puede dar cuenta del propio conjunto de los informes y visiones que tienen los habitantes de Chiriguaná de las tecnologías de edificación.

Por último, se presentan los resultados que arroja la encuesta; el desarrollo extensivamente del análisis de los datos cualitativos recogidos mediante la encuesta lo debe abordar la Sección 4.2.3 de la investigación.

Georreferenciación de encuestas

Como parte del proceso de recolección de datos se georreferenciaron las viviendas encuestadas. Con las coordenadas de referencia de Agustín Codazzi se realizó un mapa mostrando las viviendas encuestadas en Chiriguaná. Los puntos azules en la figura 31 indican las viviendas encuestadas, mostrando su distribución en el municipio en un mapa; se añade una tabla anexa con las coordenadas geográficas (ver figura 31) para cada vivienda encuestada; la información a la que hace referencia esta tabla proporciona la precisión necesaria a la hora de ubicar cada punto en el mapa, logrando con ello la georreferenciación precisa y confiable de las encuestas realizadas en Chiriguaná.

Figura 31

Distribución de viviendas encuestadas en el municipio de Chiriguaná



Figura 32*Coordenadas de las viviendas encuestadas en el municipio de Chiriguáná*

COORDENADAS (VIVIENDAS ENCUESTADAS)			
N°	NORTE	ESTE	DESCRIPCION
1	1526259.563	1053043.627	PTO
2	1526309.147	1053014.143	PTO
3	1526379.136	1052976.348	PTO
4	1526464.516	1052934.295	PTO
5	1526603.947	1052854.09	PTO
6	1526727.518	1052787.358	PTO
7	1526880.719	1052718.009	PTO
8	1526965.505	1052735.726	PTO
9	1527062.223	1052762.987	PTO
10	1527121.428	1052773.826	PTO
11	1527333.947	1052615.085	PTO
12	1527275.394	1052464.116	PTO
13	1527193.981	1052369.517	PTO
14	1527091.002	1052186.195	PTO
15	1526976.539	1052169.478	PTO
16	1526916.919	1052158.318	PTO
17	1526815.83	1052136.494	PTO
18	1526736.656	1052120.989	PTO
19	1526595.943	1052280.545	PTO
20	1526536	1052185.948	PTO
21	1526527.064	1051934.949	PTO
22	1526649.324	1051954.3	PTO
23	1526635.103	1051848.244	PTO
24	1526505.415	1051828.416	PTO
25	1526742.229	1051705.555	PTO
26	1526888.371	1051673.336	PTO
27	1527103.186	1051633.919	PTO
28	1527330.879	1051654.281	PTO
29	1527430.184	1051654.281	PTO
30	1527555.684	1051640.265	PTO
31	1527652.09	1051601.287	PTO
32	1527686.962	1051545.21	PTO
33	1527696.525	1051476.86	PTO
34	1527733.066	1051460.115	PTO
35	1527814.785	1051725.059	PTO
36	1527830.153	1051832.026	PTO
37	1527754.656	1051952.848	PTO
38	1527833.339	1051999.326	PTO
39	1527881.478	1052151.476	PTO
40	1527639.913	1052192.31	PTO
41	1527639.913	1052432.453	PTO
42	1527616.176	1052553.555	PTO
43	1527525.666	1052565.914	PTO
44	1527426.923	1052638.642	PTO
45	1527352.576	1052797.928	PTO
46	1527306.275	1052785.915	PTO
47	1527167.91	1052810.329	PTO
48	1527157.909	1052868.39	PTO
49	1527068.629	1053002.98	PTO
50	1526899.528	1052987.907	PTO
51	1526812.206	1053306.021	PTO
52	1526740.063	1053473.784	PTO
53	1526655.801	1053447.904	PTO
54	1526607.578	1053527.225	PTO
55	1526548.539	1053616.67	PTO
56	1526484.689	1053645.025	PTO
57	1526405.331	1053645.025	PTO
58	1526429.123	1053743.369	PTO
59	1527035.213	1053774.412	PTO
60	1526985.622	1053917.118	PTO
61	1526870.169	1054074.241	PTO
62	1526951.476	1054155.494	PTO
63	1527013.12	1054183.482	PTO
64	1526767.325	1054299.194	PTO
65	1526688.062	1054455.558	PTO
66	1526286.589	1052450.704	PTO
67	1526370.705	1052370.096	PTO
68	1526413.104	1052118.016	PTO
69	1526402.785	1051810.376	PTO

4.2.2 Diseño de Encuestas

Encuesta sobre la Viabilidad de Tecnologías de Construcción no Convencionales en Chiriguaná, Cesar

Este punto se refiere minuciosamente al proceso de elaboración de encuestas con el fin de poder evaluar la posibilidad de la integración de las tecnologías de construcción no convencionales en Chiriguaná, Cesar. Es importante señalar que se explica que las preguntas se han elaborado cuidadosamente, se ha pensado en un buen formato que responde a los objetivos de la investigación, y que las encuestas se han pensado para dar respuesta a las necesidades de la comunidad, así como a las de los profesionales, de modo que la recogida de datos esté bien fundamentada; también se han considerado criterios de tipo ético, como la confidencialidad y el consentimiento informado, junto a la rigurosidad y la ética que la investigación exige. Además, se han introducido imágenes e incluso se incluye un glosario de términos para los encuestados que tienen pocos conocimientos sobre el tema, con el fin de mejorar la calidad de las respuestas. Todos los elementos gráficos y explicativos contribuyen a hacer un acto de recogida de datos más válido y más comprensible para cualquier interesado.

Diseño de encuesta y propósito de las preguntas

1. ¿Has escuchado sobre formas de construir casas de manera que sean más amigables con el medio ambiente y el entorno? (Sí/No)

Propósito: Esta pregunta busca determinar el nivel de conocimiento previo de los encuestados sobre prácticas de construcción sostenible. Nos permite entender si están familiarizados con este concepto o si requieren una mayor educación sobre el tema.

2. ¿Qué tan importante crees que es cuidar el ambiente al construir casas en Chiriguaná?

(Escala de 1 a 5, donde 1 es 'no importante' y 5 es 'muy importante').

Propósito: Esta pregunta busca evaluar la percepción de los encuestados sobre la importancia de la sostenibilidad en la construcción de viviendas en su comunidad. Ayuda a comprender el grado de conciencia ambiental y la valoración que le dan al cuidado del entorno.

3. ¿Has oído hablar de formas diferentes de construir casas, que no sean las tradicionales?

(Sí/No)

Propósito: Esta pregunta busca determinar si los encuestados están al tanto de alternativas no convencionales en la construcción de viviendas. Nos permite identificar si tienen alguna exposición previa a estas prácticas.

Si respondiste sí, ¿cuáles conoces?

Propósito: Esta pregunta complementa la anterior, permitiendo a los encuestados especificar qué tecnologías o métodos de construcción no convencionales conocen. Ayuda a identificar las prácticas más comunes o populares en la comunidad.

4. ¿Estarías dispuesto a vivir en una casa construida de una manera diferente a la usual?

(Sí/No)

Propósito: Esta pregunta busca determinar la disposición de los encuestados para adoptar nuevas formas de construcción. Ayuda a evaluar su receptividad hacia prácticas no convencionales en la construcción de viviendas

5. ¿Qué ventajas crees que tendría vivir en una casa construida de manera diferente a la usual? (Selecciona todas las que creas aplicables):

Propósito: Esta pregunta busca identificar las percepciones de los encuestados sobre los beneficios de vivir en casas construidas de manera no convencional. Ayuda a comprender sus motivaciones para considerar este tipo de viviendas

6. ¿Qué te preocuparía más sobre vivir en una casa construida de manera diferente a la usual?

Propósito: Esta pregunta busca identificar las preocupaciones o temores potenciales de los encuestados respecto a la adopción de nuevas formas de construcción. Ayuda a comprender los obstáculos percibidos para la aceptación de estas tecnologías.

7. ¿Qué tipo de construcción te gustaría más para las casas en Chiriguaná y por qué?

(Seleccione una y explique)

- a) Bloques de Suelo Cemento
- b) Ladrillos de Geopolímero
- c) Construcción Modular
- d) Steel Framing con paneles de aislamiento térmico
- e) Materiales de Construcción Reciclados
- f) Contenedores de Envío Reciclados
- g) Construcción en Tierra (Adobe, Tapial)

Propósito: Esta pregunta busca conocer las preferencias individuales de los encuestados en cuanto a métodos de construcción. Ayuda a identificar las tecnologías que podrían ser más aceptadas por la comunidad y las razones detrás de estas preferencias.

8. De las tecnologías mencionadas, ¿cuál NO escogería para la construcción de viviendas en Chiriguaná y por qué?

Propósito: Esta pregunta busca identificar las tecnologías que podrían enfrentar resistencia por parte de la comunidad. Ayuda a comprender las preocupaciones específicas o las razones detrás de la negativa hacia ciertos métodos de construcción.

9. ¿Cuál crees que sería el factor más importante para que la gente en Chiriguaná adopte estas formas de construcción? (Selecciona uno):

Propósito: Esta pregunta busca identificar los factores clave que podrían influir en la adopción de nuevas formas de construcción en la comunidad. Ayuda a comprender los aspectos más relevantes a considerar para promover la aceptación de estas tecnologías.

10. ¿Crees que la gente en Chiriguaná está lista para usar estas nuevas formas de construcción? (Sí/No)

Propósito: Esta pregunta busca evaluar la percepción de los encuestados sobre la preparación de la comunidad para adoptar nuevas formas de construcción. Ayuda a identificar si la comunidad está abierta al cambio o si es necesario un mayor trabajo de sensibilización y educación.

Si no, ¿qué cree que se necesitaría para preparar a la comunidad? (Respuesta abierta)

Propósito: Esta pregunta busca obtener ideas y sugerencias de los encuestados sobre las acciones necesarias para preparar a la comunidad para la adopción de nuevas tecnologías de construcción. Ayuda a identificar posibles barreras y soluciones

11. ¿Se le ocurre algo para promover la construcción compatible con el medio ambiente en Chiriguaná? (Respuesta abierta)

Propósito: Esta pregunta se encuentra formulada para dar la oportunidad a los encuestados para que también hagan sugerencias y recomendaciones en cuanto a aquellas actividades que son propicias para la promoción de una construcción ambientalmente sostenible

en su comunidad, para igualmente recolectar una serie de ideas prácticas y concretas que podrían implementarse.

12. ¿Te gustaría agregar algo más sobre el tema? (Respuesta abierta)

Propósito: Esta pregunta está pensada para ofrecer a los encuestados la posibilidad de articular algún otro interés, idea o preocupación relativa a la temática abordada, la cual no cuente con cabida en las preguntas ya planteadas, siendo así que ayuda a recopilar información adicional sin lugar a dudas importante para la investigación.

4.2.3 Resultados y análisis de la encuesta

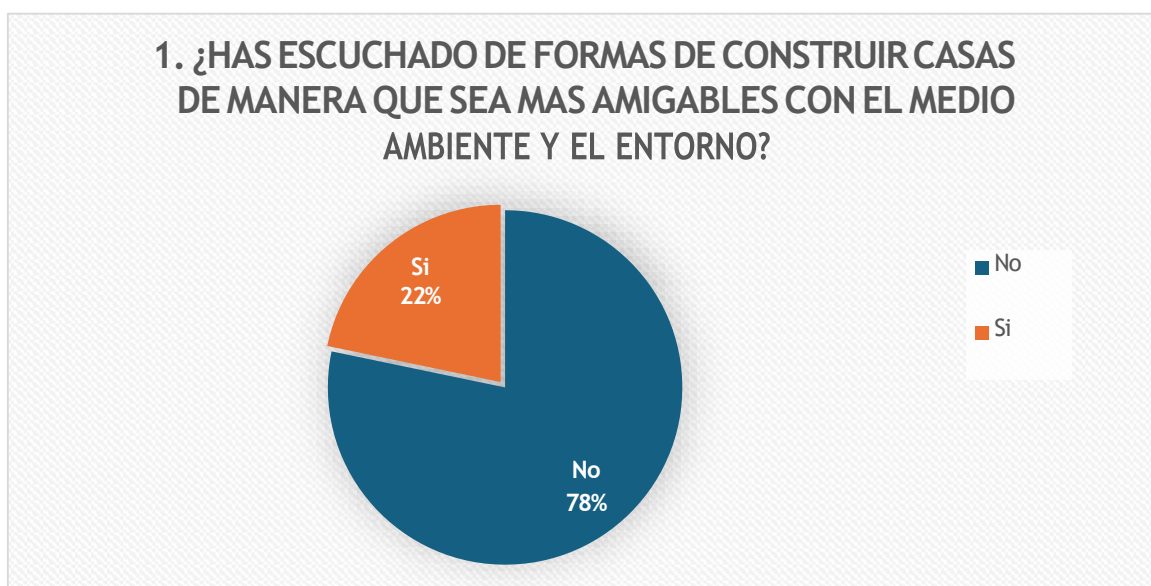
En primer lugar, todas las respuestas recibidas de la encuesta se compilaron y organizaron con precisión según criterios previamente establecidos para garantizar la coherencia y precisión del análisis. Para ello se utilizó el software Excel, que facilitó enormemente la organización de los datos y su posterior análisis detallado. Posteriormente, se llevó a cabo una interpretación y un análisis exhaustivos de las respuestas para identificar tendencias, patrones y opiniones comunes de los encuestados. A través de este análisis, los resultados se vincularon con la literatura existente y los estudios de casos previamente revisados, proporcionando una base sólida para una comprensión más profunda de los temas cubiertos. A continuación se presenta un resumen de los hallazgos, destacando los aspectos e implicaciones más importantes de estos hallazgos para la disciplina.

Debido a la diversidad de la encuesta, se incluyeron datos demográficos que incluyen edad, género y ocupación para proporcionar una comprensión más completa de los datos. ha sido

recogido. La edad promedio de los encuestados fue de 48 años. Refleja una muestra diversa por edades. Por ocupación, se entrevistó a una variedad de personas, incluidas amas de casa, ingenieros civiles, ingenieros de construcción y otros expertos de la industria. Esta selección de participantes nos permite capturar una variedad de perspectivas y experiencias relacionadas con la construcción sostenible. Además, la encuesta se realizó entre la comunidad en general y abarcó diferentes segmentos de la población y tipos de vivienda de Chiriguaná. Esta diversidad demográfica mejora nuestro análisis y comprensión de las percepciones y expectativas de la comunidad con respecto a las técnicas de construcción sostenible.

Figura 33

Pregunta número uno de la encuesta



En la figura 33 se muestra una distribución entre individuos que tienen experiencia o conocimiento previo en construcción sostenible y aquellos que no. La categorización está claramente dividida en dos respuestas posibles: "Sí" y "No". El 22% de los encuestados afirma

tener experiencia o conocimiento previo en construcción sostenible, mientras que una mayoría sustancial del 78% indica no tenerlo.

Este análisis refleja un escenario en el que la mayoría de los individuos encuestados carecen de experiencia en construcción sostenible. Esto sugiere varias posibilidades. Primero, podría indicar que la educación y formación en prácticas sostenibles no se han integrado ampliamente en el currículo estándar o en el entrenamiento profesional dentro del sector de la construcción. Segundo, podría reflejar una brecha entre el conocimiento teórico de la sostenibilidad y la aplicación práctica en proyectos de construcción.

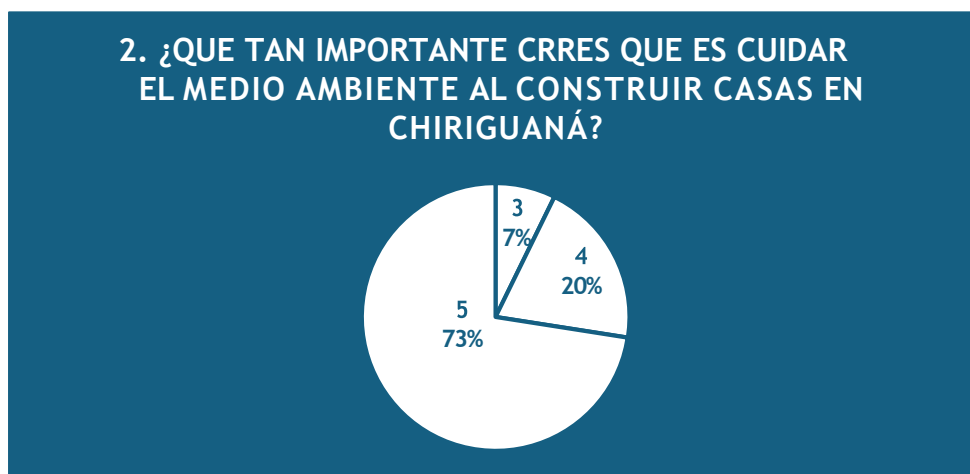
El 22% que indicó tener experiencia o conocimiento podría representar profesionales que han recibido educación especializada, trabajan en empresas que priorizan la sostenibilidad, o que tienen un interés personal en temas ambientales.

Sin embargo, dado que la muestra de individuos con conocimiento es relativamente pequeña, podría implicar la necesidad de más programas de capacitación y concienciación para aumentar la competencia en sostenibilidad dentro de la industria.

El análisis también sugiere que hay un potencial considerable para la expansión del conocimiento y la práctica de la construcción sostenible. Dado que la construcción tiene un impacto significativo en el medio ambiente, es crucial que una mayor proporción de los profesionales del sector esté equipada con las habilidades necesarias para implementar prácticas sostenibles.

Figura 34

Pregunta número dos de la encuesta



En la figura 34 se ilustra la percepción de la importancia de la sostenibilidad en la construcción de viviendas, calificada en una escala de 1 a 5, donde 5 indica una importancia muy alta. Según los datos aportados, la mayoría, un 73%, considera la sostenibilidad como lo más importante, otorgándole una calificación de 5. Esto indica que los encuestados son bastante conscientes de la importancia de las prácticas sostenibles en la construcción de viviendas.

La importancia sigue siendo alta. El grupo con puntuación 4 representa el 20% de los encuestados. Esto refleja un reconocimiento generalizado de que las consideraciones sostenibles son más que una simple idea de último momento. Es una parte integral de la arquitectura de las casas modernas.

Solo un pequeño porcentaje pone menos énfasis en la sostenibilidad: el 7% le otorga a la sostenibilidad un 3, la brecha entre el primer y el segundo lugar. Esto indica que casi ninguno de los encuestados considera que la sostenibilidad no sea importante. O no importa. Estos resultados

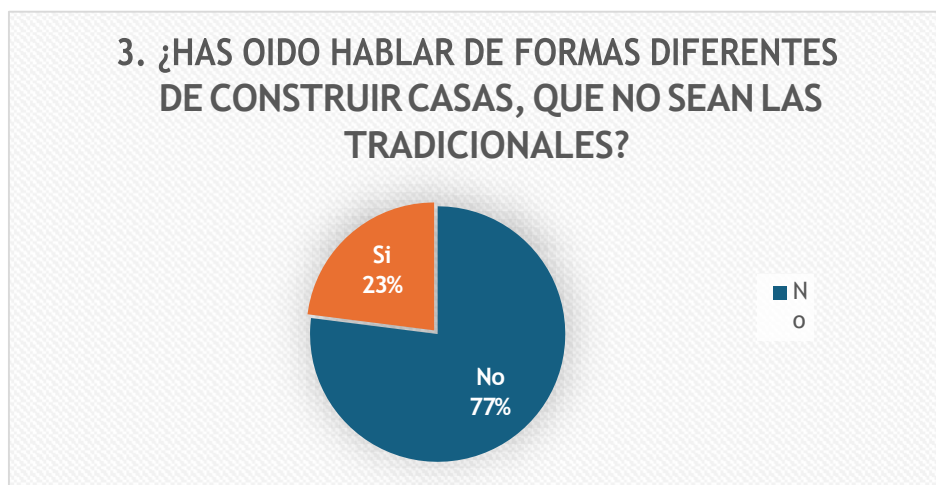
sugieren firmemente que la sostenibilidad no es sólo una palabra de moda, sino una prioridad clave para el sector de la construcción de viviendas.

Este análisis lleva a la conclusión de que la sostenibilidad está constantemente en juego en la construcción de apartamentos al 93%. Según lo calificaron los participantes en una escala de 4 a 5, existe un claro imperativo para que los profesionales de la construcción, los desarrolladores y los responsables de la formulación de políticas implementen prácticas sostenibles en sus proyectos.

Esto refleja una tendencia creciente y un cambio de paradigma hacia el reconocimiento de la importancia de construir de una manera que apoye la salud ambiental, económica y social a largo plazo. La falta de respuestas en esta subcategoría puede indicar una creciente presión social o estándares que apoyan la sostenibilidad, lo cual es alentador para las perspectivas futuras de la construcción sostenible.

Figura 35

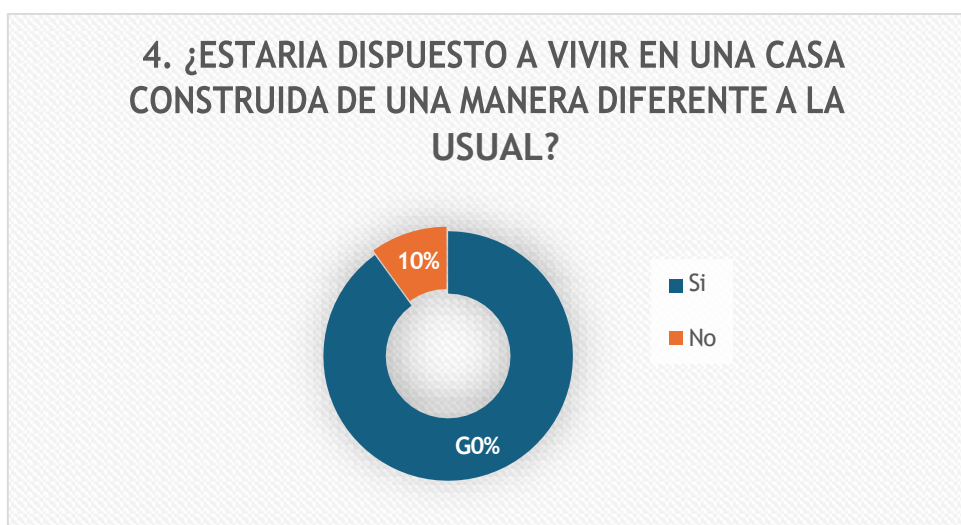
Pregunta número tres de la encuesta



En la figura 35 se muestra que el 23% de los encuestados están familiarizados con tecnologías de construcción no convencionales, mientras que el 77% no lo está. Este dato revela que, aunque hay un grupo significativo que tiene conocimiento de estas tecnologías, la mayoría de los participantes no están informados sobre ellas o no han tenido la oportunidad de familiarizarse con su uso o aplicación.

Figura 36

Pregunta número cuatro de la encuesta



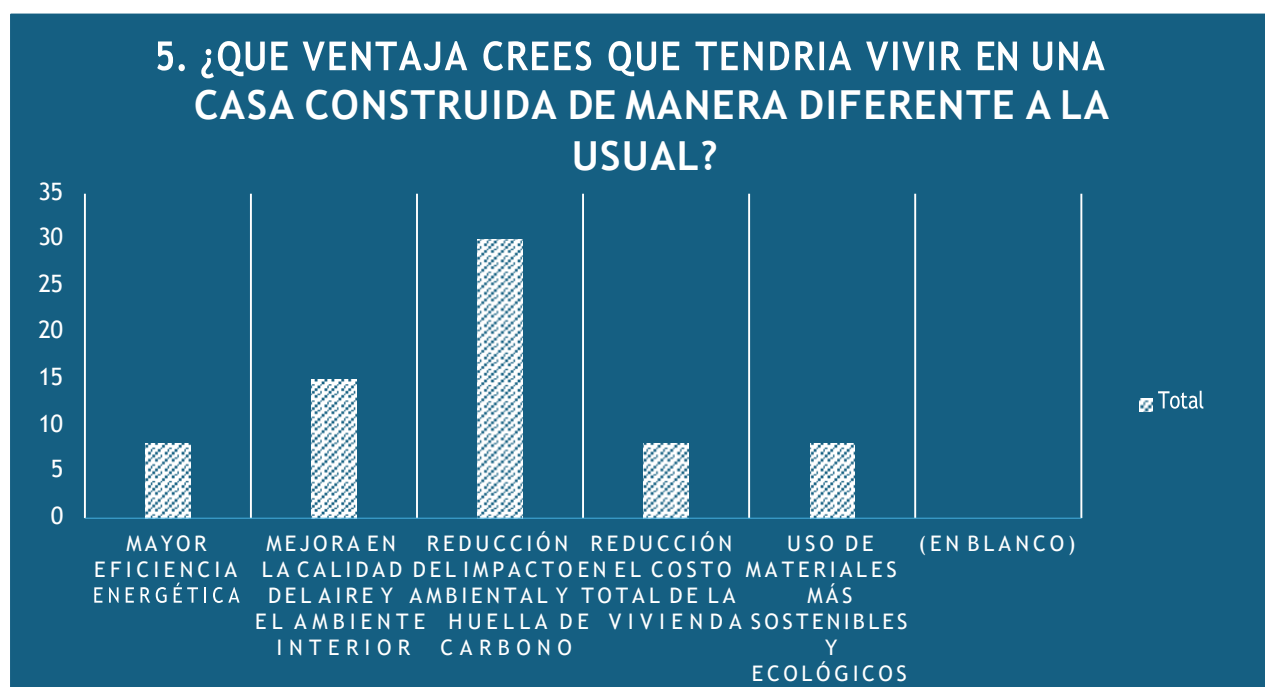
En la figura 36 se indica que una gran mayoría de los encuestados, el 90%, estaría dispuesta a vivir en una casa construida con tecnologías no convencionales, mientras que sólo el 10% no lo estaría. Este resultado es notablemente positivo hacia la adopción de nuevas tecnologías en la construcción de viviendas y sugiere una alta apertura a la innovación entre el grupo de participantes.

La disposición a adoptar nuevas tecnologías en la construcción de una casa refleja una actitud progresista hacia la innovación y un reconocimiento del potencial de estas tecnologías para mejorar la calidad de vida, la eficiencia energética y la sostenibilidad. Una mayor aceptación puede indicar una creciente conciencia de los beneficios ambientales y económicos a largo plazo que ofrecen estas tecnologías, incluido un menor impacto ambiental, menores costos y una mayor eficiencia energética.

La disposición a adoptar nuevas tecnologías es una pequeña minoría. Puede reflejar una variedad de preocupaciones, incluyendo durabilidad, costo, dudas sobre la estética, desconocimiento y resistencia al cambio en los métodos de construcción tradicionales. Este grupo podría beneficiarse de una mayor información y educación sobre las ventajas y la confiabilidad de las tecnologías no convencionales.

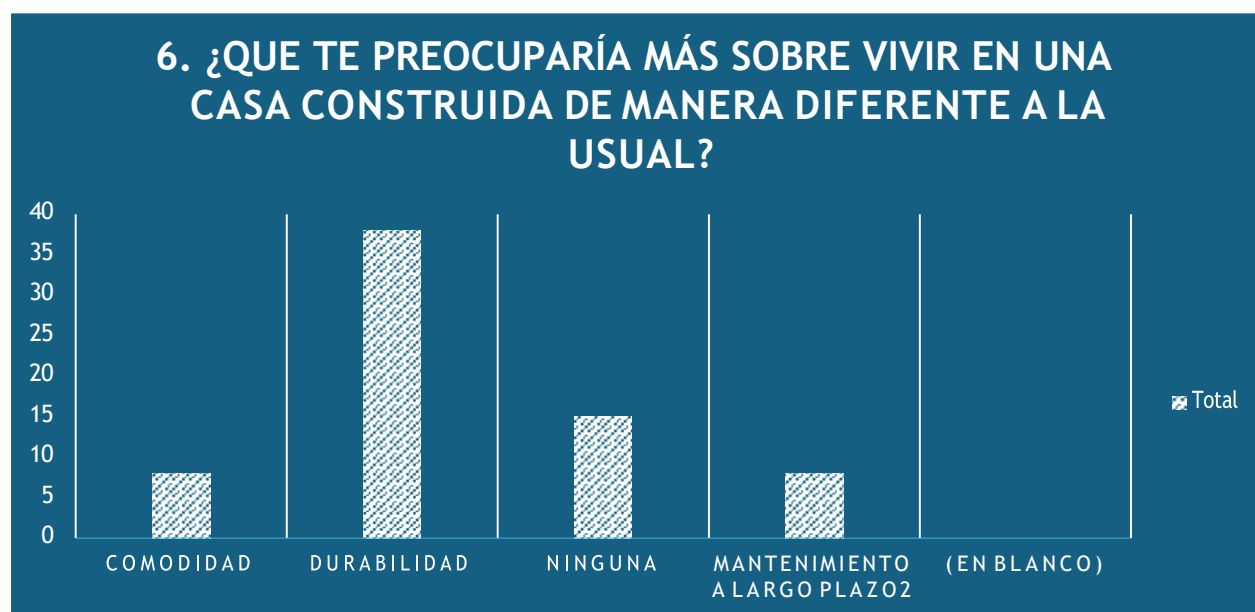
Figura 37

Pregunta número cinco de la encuesta



Los encuestados (30%) citaron la reducción del impacto ambiental y la huella de carbono como los principales beneficios de vivir en una casa construida de manera no convencional. Estos datos indican una creciente conciencia sobre la sostenibilidad y el cambio climático y resaltan la importancia que los encuestados otorgan a las soluciones constructivas que contribuyan a mitigar estos problemas globales como se muestra en la figura 35. Al mismo tiempo, un 20% de los participantes valora reducir el coste total de la vivienda y utilizar materiales más sostenibles y ecológicos. Esto indica que los factores económicos y la elección de materiales sostenibles también son factores importantes a la hora de evaluar las opciones de construcción. El 16% de los encuestados considera que la mejora de la calidad del aire y del ambiente interior es un beneficio importante, y el 14% citó la mejora de la eficiencia energética, aunque considera que estos factores son menos importantes. Aunque estos resultados reconocen como ventajas la eficiencia energética y la calidad ambiental interior, Las prioridades de los encuestados se acercan más a la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica. Esto indica que para fomentar el uso de edificios alternativos es necesario enfatizar sus beneficios en términos de sostenibilidad y ahorro económico

.

Figura 38*Pregunta número seis de la encuesta*

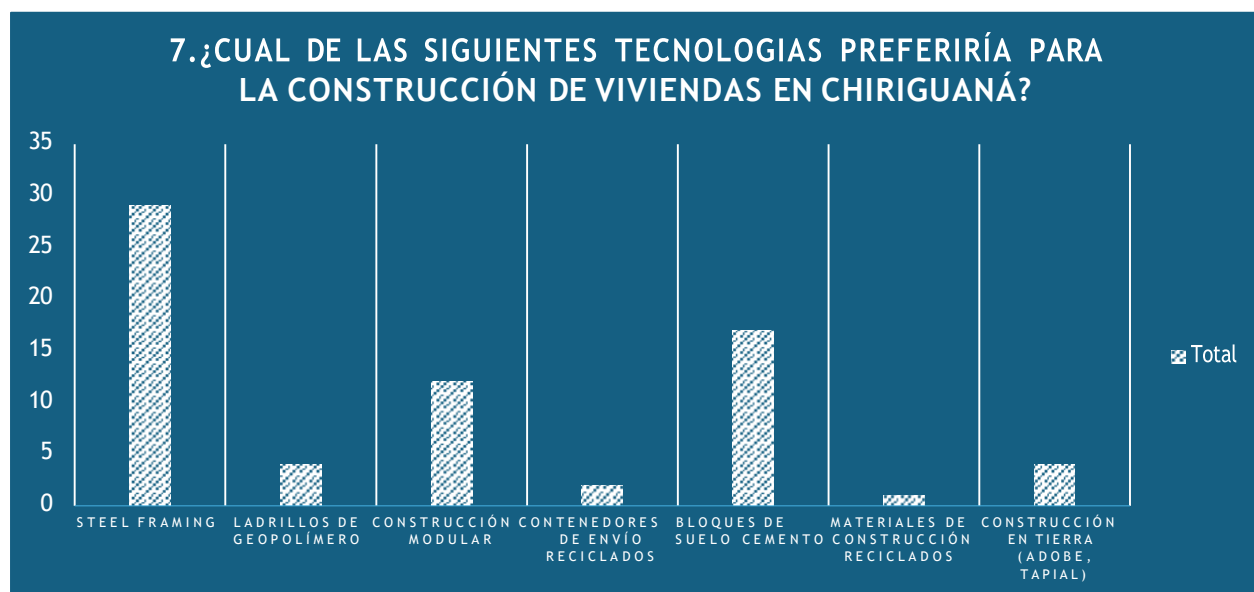
La mayor preocupación expresada es la durabilidad, seguida del mantenimiento y la comodidad a largo plazo. En la figura 38 es interesante observar que un número significativo de encuestados no tenía preocupaciones (“ninguna”). Esto puede indicar falta de confianza en la viabilidad de tecnologías alternativas o conciencia de problemas potenciales. Las preocupaciones sobre la durabilidad indican la percepción de que las tecnologías alternativas pueden no proporcionar la misma longevidad o confiabilidad que las técnicas de construcción convencionales. Las preocupaciones sobre el mantenimiento a largo plazo pueden reflejar incertidumbre sobre el costo o la frecuencia de las reparaciones y el mantenimiento requeridos para este tipo de viviendas.

El beneficio más percibido de vivir en una casa construida con tecnologías alternativas es "Reducir el impacto ambiental y las emisiones de carbono". Este beneficio destaca claramente

con la mayor cantidad de respuestas, seguido por una preferencia significativa hacia el "Uso de materiales más sostenibles y ecológicos". Estos resultados reflejan una conciencia ambiental y un interés por la sostenibilidad entre los encuestados.

Figura 39

Pregunta número siete de la encuesta



En la figura 39, se visualizan las preferencias de construcción para viviendas en Chiriguana, clasificadas por diferentes tecnologías no convencionales. Observamos que los paneles resistentes al calor son la tecnología con mayor preferencia, seguida por el steel framing. Las preferencias disminuyen considerablemente para las opciones de ladrillos de geopolímero, construcción modular, construcción en tierra (adobe, tapial) contenedores de envío reciclados, bloques de suelo cemento. Por otro lado, materiales de construcción reciclados es la que presenta menos aceptación.

Los paneles resistentes al calor reciben la mayor preferencia, lo cual puede atribuirse a una conciencia creciente sobre la eficiencia energética y la comodidad térmica dentro de las viviendas, lo que es crucial en zonas con temperaturas extremas. Los paneles pueden ofrecer aislamiento térmico superior, reduciendo la dependencia de sistemas de refrigeración. El steel framing con paneles de aislamiento térmico, reciben la mayor preferencia, lo cual puede atribuirse a una conciencia creciente sobre la eficiencia energética y la comodidad térmica dentro de las viviendas, lo que es crucial en zonas con temperaturas extremas. Los paneles pueden ofrecer aislamiento térmico superior, reduciendo la dependencia de sistemas de refrigeración, además el steel sugiere una inclinación hacia métodos de construcción rápidos, eficientes y con posibilidades de diseño flexible.

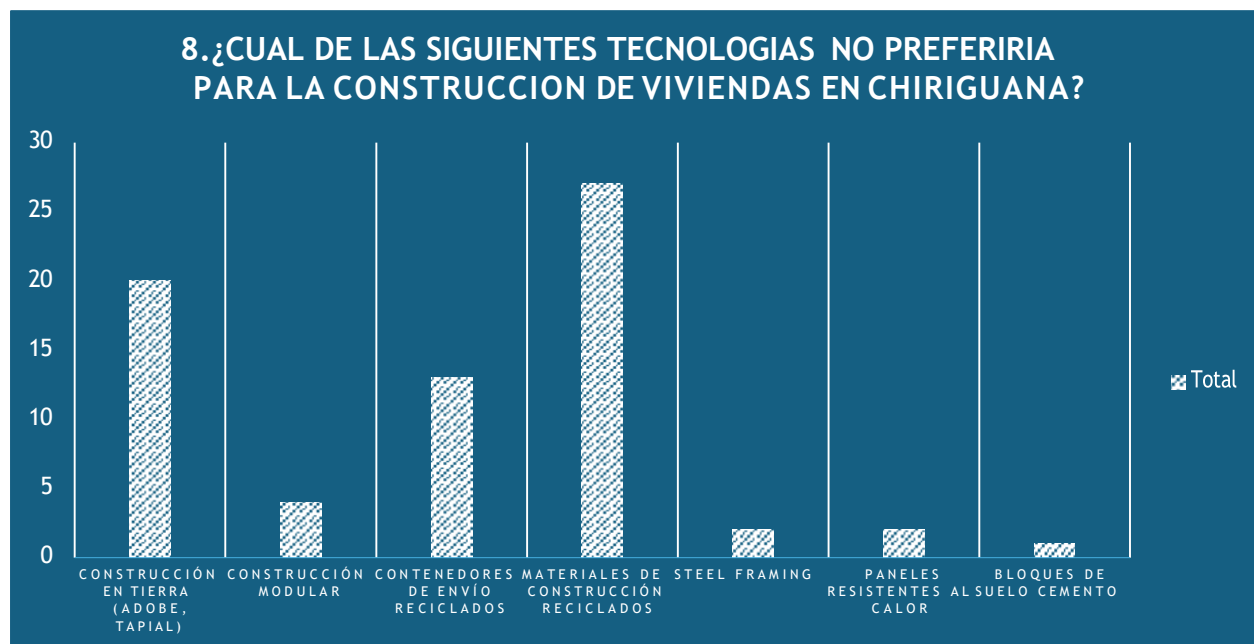
La construcción modular y los ladrillos de geopolímero muestran una preferencia moderada. La construcción modular es conocida por su eficiencia de tiempo y reducción de residuos en el sitio de construcción, mientras que los ladrillos de geopolímero son valorados por su bajo impacto ambiental y resistencia duradera, aunque aún pueden ser relativamente nuevos o desconocidos para algunos contenedores de envío reciclados y bloques de suelo cemento tienen preferencias más bajas. A pesar de que los contenedores de envío ofrecen una solución de reciclaje creativa y robustez, pueden presentar desafíos en términos de aislamiento y modificaciones. Los bloques de suelo cemento, aunque sostenibles, podrían percibirse como menos innovadores o atractivos en comparación con otras opciones.

Construcción en tierra (adobe, tapial), aunque esta técnica tiene una larga historia y es sostenible, su menor popularidad podría deberse a malentendidos sobre su resistencia y durabilidad, o a la preferencia por tecnologías percibidas como más modernas.

Materiales de construcción reciclados, esta tecnología es la menos preferida, lo que puede sugerir preocupaciones sobre la calidad, la consistencia de los materiales o la percepción de que son menos estéticos o funcionales. La construcción con materiales reciclados tiene beneficios evidentes para la sostenibilidad, pero su baja preferencia en la encuesta sugiere que puede existir una falta de información o una preocupación por su apariencia, durabilidad o por la seguridad estructural.

Figura 40

Pregunta número ocho de la encuesta



En la figura 40, se visualizan las preferencias de construcción para viviendas en Chiriguana, clasificadas por diferentes tecnologías no convencionales. Observamos que los paneles resistentes al calor son la tecnología con mayor preferencia, seguida por el steel framing.

Las preferencias disminuyen considerablemente para las opciones de ladrillos de geopolímero, construcción modular, construcción en tierra (adobe, tapial) contenedores de envío reciclados, bloques de suelo cemento. Por otro lado, materiales de construcción reciclados es la que presenta menos aceptación.

Los paneles resistentes al calor reciben la mayor preferencia, lo cual puede atribuirse a una conciencia creciente sobre la eficiencia energética y la comodidad térmica dentro de las viviendas, lo que es crucial en zonas con temperaturas extremas. Los paneles pueden ofrecer aislamiento térmico superior, reduciendo la dependencia de sistemas de refrigeración. El steel framing con paneles de aislamiento térmico, reciben la mayor preferencia, lo cual puede atribuirse a una conciencia creciente sobre la eficiencia energética y la comodidad térmica dentro de las viviendas, lo que es crucial en zonas con temperaturas extremas.

Los paneles pueden ofrecer aislamiento térmico superior, reduciendo la dependencia de sistemas de refrigeración, además el steel sugiere una inclinación hacia métodos de construcción rápidos, eficientes y con posibilidades de diseño flexible. La construcción modular y los ladrillos de geopolímero muestran una preferencia moderada. La construcción modular es conocida por su eficiencia de tiempo y reducción de residuos en el sitio de construcción, mientras que los ladrillos de geopolímero son valorados por su bajo impacto ambiental y resistencia duradera, aunque aún pueden ser relativamente nuevos o desconocidos para algunos.

Contenedores de envío reciclados y bloques de suelo cemento tienen preferencias más bajas. A pesar de que los contenedores de envío ofrecen una solución de reciclaje creativa y robustez, pueden presentar desafíos en términos de aislamiento y modificaciones. Los bloques de

suelo cemento, aunque sostenibles, podrían percibirse como menos innovadores o atractivos en comparación con otras opciones. Construcción en tierra (adobe, tapial), aunque esta técnica tiene una larga historia y es sostenible, su menor popularidad podría deberse a malentendidos sobre su resistencia y durabilidad, o a la preferencia por tecnologías percibidas como más modernas.

Materiales de construcción reciclados, esta tecnología es la menos preferida, lo que puede sugerir preocupaciones sobre la calidad, la consistencia de los materiales o la percepción de que son menos estéticos o funcionales. La construcción con materiales reciclados tiene beneficios evidentes para la sostenibilidad, pero su baja preferencia en la encuesta sugiere que puede existir una falta de información o una preocupación por su apariencia, durabilidad o por la seguridad estructural.

Figura 41

Pregunta número nueve de la encuesta



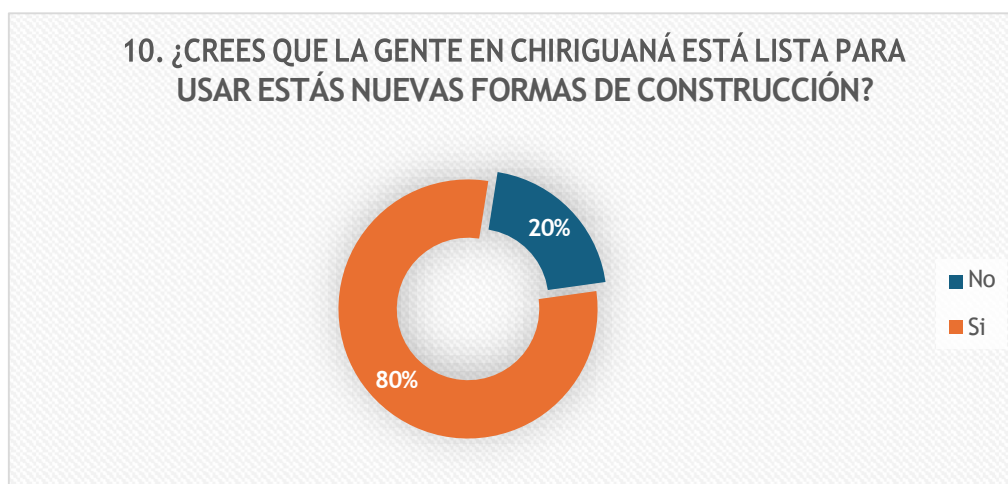
La figura 41 muestra tres factores que pueden influir en la implementación de tecnologías de construcción no tradicionales en Chiriguana: conciencia y educación ambiental, conocimiento técnico y costo. El conocimiento técnico parece ser el factor más influyente, lo que sugiere que

una comprensión profunda de cómo funcionan las tecnologías alternativas y cómo se pueden aplicar eficazmente es fundamental para la adopción de tecnologías alternativas. Esto puede reflejar la necesidad de capacitación y materiales educativos que permitan a los profesionales y al público comprender los beneficios, los métodos de aplicación y el mantenimiento de esta tecnología.

El costo es el segundo factor más importante. Esto sugiere que, a pesar del interés y los conocimientos técnicos, si los costos de las tecnologías no tradicionales se perciben como altos, esto puede constituir una barrera importante para su adopción. Por lo tanto, la eficiencia es un factor clave para fomentar la transición hacia métodos de construcción más innovadores. La conciencia y la educación medioambiental son los factores en tercer nivel considerados importantes. Estos resultados reflejan la importancia de crear conciencia sobre el impacto ambiental de la construcción y cómo las tecnologías alternativas pueden contribuir a reducir el cambio climático y promover la sostenibilidad.

Figura 42

Pregunta número diez de la encuesta



En la figura 42 el 80% de los encuestados cree que la comunidad Chiriguana está lista para adoptar técnicas de construcción no tradicionales. Esta es una señal muy positiva del compromiso y la apertura de la comunidad a la innovación y la sostenibilidad en la industria de la construcción. La preparación percibida puede surgir de una variedad de factores, incluido el conocimiento previo de tecnologías no tradicionales, una cultura de adaptabilidad y la conciencia de los beneficios potenciales que estas tecnologías pueden aportar.

Figura 43

Pregunta número once de la encuesta



Cuando se trata de recomendaciones para promover la construcción sustentable en Chiriguana, destaca como recomendación la campaña de concientización. En la figura 41se indica que la sociedad considera que la conciencia de la importancia y los beneficios de la sostenibilidad es esencial para su adopción. Las campañas de concientización pueden incluir educación pública, cobertura de los medios y eventos comunitarios para resaltar cómo la

arquitectura sostenible puede mejorar la calidad de vida y proteger el medio ambiente. La formación también se considera importante, lo que indica que la sociedad reconoce la necesidad de desarrollar habilidades y conocimientos específicos para implementar técnicas de construcción sostenible. Esto puede incluir talleres, seminarios y capacitación técnica para profesionales de la construcción y partes interesadas de la comunidad.